

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr.Dr. Martin Herrmann)

SCHMELZLÖSLICHKEIT GEGENÜBER SÄUREN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur
Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

vorgelegt von

Peter Leidgeb
aus Rot am See

Mainz 1957

1958



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554410_0030

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr.Dr. Martin Herrmann)

SCHMELZLÖSLICHKEIT GEGENÜBER SÄUREN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur
Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

vorgelegt von

Peter Leidgeb
aus Rot am See

Mainz 1957

Dekan: Prof.Dr.Lossen

Referent: Prof.Dr.Dr. Martin Herrmann

Datum des Diploms: 3. Dez. 1958



Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

I.	Vorwort	1
II.	Allgemeiner Teil	2
	1. Struktur und Genese des Schmelzes	2
	2. Die Entwicklung der Zähne	3
	3. Die histologische Betrachtung des Schmelzes	4
	4. Vergleichende Untersuchungen von tierischem Schmelz im Blickfeld neuerer Forschungsergebnisse	6
	5. Allgemeine Betrachtungen über Zähne verschiedener Tiergattungen	9
	a) Pferde Zähne: Beschaffenheit und Struktur	9
	b) Rinderzähne: Beschreibung des Wiederkäuer- gebisses	10
	c) Die Zähne im Gebiß der Fleischfresser	12
	6. Allgemeine Betrachtungen über Schmelzlöslich- keitsversuche	13
III.	Experimenteller Teil	24
	1. Einleitende Bemerkungen	24
	2. Das moderne Bohrerprüfgerät: Beschreibung der Ver- suchsanordnung	28
	3. Meine Versuchsergebnisse	31
	4. Die Beschreibungen der einzelnen Tabellen	32
	5. Diskussion der graphischen Darstellungen	39
IV.	Zusammenfassung	42
	Literaturverzeichnis	45

I.

VORWORT

Es handelt sich um das Problem der Schmelzlöslichkeit. Eine gro-
ße Anzahl führender in- und ausländischer Fachzeitschriften zeigen
fortlaufend neue Versuche.

Die vorliegenden Experimente zeigen die Schmelzlöslichkeit ver-
schiedener Tier- und Menschenzähne vergleichsweise an. Zum Unter-
schied von den meisten Arbeiten habe ich die Aufgabe, meine Versuche
mit ganzen Zähnen durchzuführen.

Meine Arbeit im Rahmen dieser Dissertation soll einen kleinen
Beitrag zu den Problemen der Schmelzlöslichkeit darstellen. Die Auf-
gabe meiner Untersuchungen ist es, die Schmelzlöslichkeit verschiede-
ner Menschen- und Tierzähne gegenüber Säuren zu zeigen. Die Beein-
flussung der Schmelzstruktur soll anschließend noch an dem modernen
Bohrerprüfgerät veranschaulicht werden.

II.

ALLGEMEINER TEIL

1. Struktur und Genese des Schmelzes

Makroskopisch erscheint der Schmelz fast nahezu strukturlos. Es besteht jedoch kein Zweifel mehr darüber, daß es sich um die härteste Substanz im menschlichen Organismus (u. im tierischen O.) handelt. Nach EULER ergibt die Untersuchung 2-4% organische Substanz. Die Analyse auf anorganische Bestandteile zeigt einen Anteil von 90 % phosphorsaurem Kalk. Der Rest verteilt sich der Reihe nach auf kohlen-sauren Kalk, phosphorsaure Magnesia, Fluorkalzium und andere Salze. Allerdings muß man bei diesen Betrachtungen die verschiedenen Entwicklungsstadien innerhalb des Wechselgebisses berücksichtigen. Die funktionelle Beanspruchung des Gebisses steigert sich bis zur vollständigen Ausbildung des bleibenden Gebisses. LEIMGRUBER konnte eine stetig zunehmende Verhärtung des Schmelzes junger, gerade eruptierter Zähne (beim Menschen) beobachten, die oftmals von einer Farbänderung von bläulich weiß zu ausgesprochen gelblicher Tönung begleitet wird.

BERELTA konnte bei Rinderzähnen chemisch nachweisen, daß der Ca-, P- und Mg-Gehalt in verschiedenen Altersstufen verschieden groß ist. Analytisch quantitative Untersuchungen der anorganischen Schmelzstruktur beim Menschen ergaben (BERELTA):

Zur Zeit des Durchbruchs: 78 % anorg. Best.

Im ausgereiften Zustand: 94 % " "

Im Greisenalter: 98 % " "

Auch das spezifische Gewicht verschiedener Schmelzstadien kann zur Untersuchung herangezogen werden. Hier fanden DEAKINS und BURT erhebliche Unterschiede. Sie stellten bei jungem Schmelz ein sG von 1,45, bei fortgeschrittener Verkalkung sG von 2,86 fest. Durch die steigende Kalkeinlagerung kommt es zu einer wesentlichen Gewichtsveränderung, wobei die Elastizität des Zahnes zurückgeht.

Vergleichend anatomisch zeigt sich der Schmelz von Pferde-zähnen in seinem Aufbau dem menschlichen Schmelz ähnlich: KANTOROWICZ beschreibt folgende Zusammensetzungen: Menschlicher Schmelz soll 90 % CaPO_4 und Pferdeschmelz 89 % enthalten.

Menschlicher Zahnschmelz i. %		Pferd (Schmelz i. %)
Kalk (CaO)	50,22	50,88
Magnesia (MgO)	0,73	0,54
Tonerde (Al_2O_3)	---	0,40
Phosphorsäure	40,69	39,24
Kohlensäure	---	3,10
Kieselsäure	---	0,05
Organische Stoffe u. Feuchtigkeit	6,82	4,98
Fluor	1,08	vorhanden
Schwefel	0,29	" "

Die weitgehende Übereinstimmung ist aus dieser Tabelle gut ersichtlich, so daß man die Verhältnisse übertragen kann. BÜTTNER gibt quantitative Mineralanalysen von Rattenzähnen an. Bei seinen tierexperimentellen Untersuchungen ermittelte er einen Ca-Gehalt in % der Trockensubstanz bei Rattenzähnen von 28 - 29 %. Der Phosphorgehalt beträgt nach seinen Analysen 12 - 14 % der Trockensubstanz. Es war mir leider nicht möglich den Schmelz aller Tierarten (Gattungen) zu differenzieren. Die Härteskala nach MOHS zeigt beim menschlichen Schmelz 5 - 6 an.

2. Die Entwicklung der Zähne

Nach Entwicklung der Mundhöhle beginnt die Zahnentwicklung um den 40. Tag, bei einer Scheitel-Steißlänge von 13 - 14 mm. Das Epithel des Uk. u. OK. schiebt einen Wall in das Mesoderm hinein. Daraus entsteht eine Leiste, ein am Mundhöhlenepithel hängendes Band. Aus diesen beiden Epithelbändern, Zahnleisten genannt, entwickeln sich die Zähne. Zunächst wird direkt der Schmelz gebildet und Dentinbildung im Bereich der Krone veranlaßt. Die gesamte Zahnform ist somit vorausbestimmt. Es wachsen später an den Leisten je 10 Zahnkeime symmetrisch angeordnet. Diese Knoten entwickeln sich zu Kappen und Glocken. Erst nach Bildung der Epithelglocke beginnt die Bildung der Hartsubstanzen Dentin und Schmelz. Die bleibenden Molaren können sich nach Verlängerung der Zahnleiste bilden. Die generelle Zahnleiste (MEYER) setzt sich dann von ihren Keimen ab und bildet einen Vorwuchs, die Ersatzleiste für die bleibenden Zähne. Mit 5 Monaten

hat sich die Glocke voll ausgebildet: Das Epithel ist vollständig differenziert. Die Zellen lockern sich und treten weitmaschig auseinander (MEYER). Es bildet sich eine schleimige, eiweißreiche Flüssigkeit: Dieses Gebilde heißt Schmelzpulpa. Man kann das äußere und innere Schmelzepithel erkennen. Die innerste Schicht baut palisadenförmige Zellen auf, lang und walzenförmig: Ameloblasten oder Adamantoblasten. Diese Namen deuten auf die schmelzbildende Funktion hin. Zwischen Ameloblasten und Schmelzpulpa liegt das "Stratum intermedium." Die Glockenform stellt mit ihrem inneren Ausguß (MEYER) die Miniaturform des Zahnes dar. Mit 4 1/2 Monaten beginnt die Bildung der Kronen bei den Milchfrontzähnen, dann folgen in Abständen die anderen Zähne. Später kommt es dann zu einer zentrifugalen Dickenzunahme des Schmelzes, und unter dem Schwund der Schmelzpulpa nährt sich das innere Schmelzepithel immer mehr dem äußeren Schmelzepithel.

In der knöchernen Kapsel (Alveole) liegt der Zahnkeim, bis sich das Kronenwachstum vollzogen hat, vollständig eingeschlossen. Erst nach Fertigstellung beginnt der Durchbruch. Die Entwicklung der Wurzeln etc. will ich im Rahmen dieser Arbeit nicht ausführlich erörtern. Dieser Vorgang ist mit dem Durchbruch und der Funktion eng verbunden.

3. Die histologische Betrachtung des Schmelzes

Der Schmelz besteht aus Prismen und interprismatischer Substanz (IPS). Beim Menschen wird eine Dicke der Prismen (MEYER) von 4 μ angegeben. Im Jahre 1835 führte Retzius diese grundlegenden Untersuchungen durch. In einer annähernd radiären Anordnung durchziehen die Prismen den ganzen Schmelz. Wir können bei der Betrachtung von Zahnschliffen im Mikroskop eine radiäre Hauptrichtung erkennen, die sich vom Dentin zur Zahnoberfläche erstreckt. Der Raum vom Dentin bis zur Oberfläche vergrößert sich und wird durch die Dickenzunahme der Prismen und der IPS ausgeglichen. Deshalb sind keinerlei Unterbrechungen der Prismen optisch festzustellen. Die Vergrößerung des Präparates zeigt dann eine zart angedeutete Längsfaserung in den Prismen. Wahrscheinlich (MEYER) kann man diese Erscheinung auf die Fasern des Ameloblastenfortsatzes zurückführen. Interessant ist die nahezu 6-eckige Form der Prismen im Querschnitt. Beim Hund konnte MEYER bei 9000-facher Vergrößerung die charakteristische 6-eckige

Form zeigen. Der Autor glaubt jedoch nicht an die oft beschriebene Arkadenform der Prismen, und spricht von einer optischen Täuschung. Die Schliffpräparate weisen sehr oft Überlagerungen von Schräganschliffen auf, da der Verlauf u.U. aus dem Längsverlauf in den Bogenverlauf übergehen kann. Ferner erkennt man deutlich die körnige Struktur der Prismen im Querschnitt. Nach MEYER entspricht diese Körnelung der Faserung beim Längsverlauf. Die interprismatische Substanz ist durch dunkel erscheinende Grenzlinien getrennt. Über die Kittfunktion herrscht noch keine klare Meinung.

Bei starker Vergrößerung (MEYER) sieht man, daß die interpr. Substanz von Fäden (quer zwischen den Prismen verlaufend) durchsetzt ist, und man spricht hier von den sog. Interkolumnarbrücken. Wegen der Ähnlichkeit dürfte man vielleicht diese aus den Interzellularbrücken der Ameloblasten ableiten. Nach der Oberfläche zu finden Prismen und IPS einen glatten Abschluß durch das Schmelzoberhäutchen. Nach v. EBNER u.a. ist es das letzte, nicht fertig diff. Produkt der Ameloblasten. Es ist sehr dünn (wenige μ) und nur relativ wenig verkalkt. Bezeichnend ist, daß das SOH (= Schmelzoberhäutchen) aus organischer Substanz besteht, die gegen Säuren und Alkalien sehr widerstandsfähig ist. Wenn man einen Schliff unter dem Mikroskop entkalkt, dann hebt sich das SOH bald von dem entkalkenden Schmelz ab. Bei scharfer Artikulation nutzt sich dieser dünne Bezug relativ schnell ab.

Bei Betrachtung von Kronenschliffen kann man jedoch nach MEYER Variationen im Verlauf der Prismen sehen. Nahe der Oberfläche, bis etwa in die Mitte der Schmelzschicht sieht man einen radiären Verlauf; auch ein Bogenverlauf ist vorhanden. Hier setzen sich verschiedene Lagen durch unterschiedlichen Verlauf ab. Durch diese abwechselnde Schichtung entsteht das Bild der Schregerschen Streifen oder Zonien: Para- oder Diazonien genannt.

In den Prismen soll dann noch die Querstreifung erwähnt werden, die für die Erklärung der Retziusstreifen oder Parallelstreifen von Bedeutung ist. Durch schwaches Anätzen mit Säuren kommen sofort Querstreifenbilder zustande. Bei völliger Verkalkung verschwinden diese Querstreifen. Die Retziusstreifen entstehen dadurch, daß die Querstreifen oft gehäuft und in gerader Linie oder stufenförmig abgesetzt verlaufen.

Ferner sollen noch die einfachen und die kolbenförmigen Fort-

sätze an der Schmelz- Dentin- Grenze erwähnt werden. Es handelt sich bei den einfachen Fortsätzen um den Übergang von Odontoblastenfortsätzen des Dentins in den Schmelz. MEYER behauptet, daß diese Fortsätze wahrscheinlich aus Dentinsubstanz bestehen; meistens enthalten sie aber auch einen oder mehrere Odontoblastenfortsätze. Der Weg in den Schmelz wird von mehreren Autoren verschieden angenommen.

Über die Schmelzmatrix berichtet NUCKOLIS, SAUNDERS und FRIESBIE; sie stellten eine " sehr viel mehr ausgeprägte Acidophilie bei jungen Zähnen" fest. LEICESTER streitet jegliche Veränderung des anorganischen Schmelzanteiles nach dem Zahndurchbruch ab. Untersuchungen von BERGGREN, VOLKER und SOGNAES ergaben, daß jugendlicher Schmelz nach Einwirkung radioaktiver Isotope eine viel stärkere Aktivität aufweist als alter Schmelz: Die Anlagerungskapazität bei jugendlichem Schmelz für anorganisches Material ist größer.

4. Vergleichende Untersuchungen von tierischem Schmelz im Blickfeld neuerer Forschungsergebnisse

Interessant sind die vielen Versuche mit Rattenzähnen, die sehr wertvolle Aufklärungen ergaben. Das Gebiß der Ratte besteht aus vier dauernd wachsenden Nagezähnen und zwölf Molaren. Schmelz, Dentin und Zement umgeben als Hartsubstanzen wie bei menschlichen Zähnen die Pulpa. Allerdings findet sich nur an der labialen Seite (FORSCHNER) der Nagezähne eine sehr dünne Schmelzschicht von Stärke. Der Schmelz dieser Zähne ist gewöhnlich pigmentiert, das konnte ich ebenfalls deutlich beobachten. Die Farbe ist bei jungen Tieren gelb, bei älteren Tieren gelb-orange. Die Schmelzbildung findet oben im basalen Drittel und unten in der basalen Hälfte statt. Intraalveolär befindet sich eine 100 μ dicke Membran, die das fortwährend bestehende Schmelzorgan der ständig wachsenden Nagezähne darstellt. Die Molaren sind auf der Höhe der Dentinhöcker schmelzfrei; nur an den Seitenwänden ist Schmelz, der auf der Kaufläche unter Bildung eines dicken Randwulstes plötzlich aufhört und das Dentin frei zutage treten läßt. Auch der Fissurenschmelz endet vor Erreichen der Kaufläche im Dentin. Die Stärke des Schmelzbelages beim Rattenzahn schwankt zwischen 100 μ und 150 μ . (ADDISON UND APPLETON)

Bei der Betrachtung der verschiedenen Schliffpräparate treten nun mehrere Ansichten in den Vordergrund einer fast endlosen Dis-

kussion. Ich möchte mich nur auf einige Studien beschränken.

Nach WALKHOFF, WALDEYER, HERTZ u.a. ist nicht bewiesen, ob die Prismen direkt aneinanderliegen, oder ob organisches Schichtgewebe dazwischen liegt. WALKHOFF gibt als Grund seiner Einstellung zu diesem Problem die im Gegensatz zum Zentralkörper weniger verkalkte Kortikalschicht an. Die Mehrzahl der Autoren nehmen eine Kittsubstanz zwischen den Prismen an. BOEDECKER beschäftigt sich als erster mit den sog. Celloidinschnitten der organischen Substanz des Schmelzes und konnte diese zuerst nachweisen. Er prägte an Stelle der Bezeichnung "Kittsubstanz" oder "Kortikalschicht" den Ausdruck "Prismenscheide". SMREKER stellte die Kittsubstanz durch AgNO_3 -Imprägnierung dar. FABER machte ähnliche Untersuchungen und fand feinste Ausläufer der Lamellen mit vermehrter Kitt- oder Zwischensubstanz. Über die organische Struktur der Schmelzprismen berichten weiter NUCKOLIS, SAUNDERS u.a.

Die Ameloblasten, die anfangs an der Schmelz-Dentingrenze liegen, treten kurz nach Anlage des ersten Dentins in Funktion. Sie beschreiben "mehr oder weniger hohle Zylinder", deren Wände aus Keratohyalin bestehen. Der einzelne Zylinder soll auch mit Keratohyalin ausgefüllt sein. Die Kalkablagerung folgt sofort einer Neubildung von organischer Matrix. Die Kalkkristalle sind in Richtung der Prismen, bzw. der Spältchen orientiert. Die Frage der interprismatischen Substanz beantworten dieselben Autoren positiv. Die Prismen setzen sich aus Zentralkörperchen, Kortikalschicht und Prismenhülle zusammen. Die Kortikalschicht gleich Prismenwand wird als stark basophil bezeichnet: Sie reift zuerst aus, ist aber auch als erste Schicht der Verkalkung unterworfen; dann folgt die Kalkeinlagerung im Zentralkörper des Prismas, und zuletzt folgt die Verkalkung der interprismatischen Substanz. Im weiteren Verlauf wird eine Verdickung der Zellwand der Ameloblasten mit der Bildung der Prismenhülle angegeben, welche das Zentralkörperchen und die Kortikalschicht umgibt und mit der organischen Substanz in Verbindung steht. Nachdem der Schmelz voll gebildet ist, degenerieren die Ameloblasten, wandeln sich in Keratin um und bilden das primäre SOH. Jetzt soll die endgültige Ausreifung des Schmelzes beginnen. Die Ausreifung stellt eine Überführung des in Säure unlöslichen Schmelzes in einen Zustand der Säurelöslichkeit dar. Diese Umwandlung geschieht unter Beseitigung von organischer Substanz.

LEICESTER beschreibt den Abbau der organischen Substanz durch ein proteolytisches Ferment, das von den degenerierten Ameloblasten ausgeschieden wird. Der Vorgang ist von einer Wasserausscheidung und weiteren Kalkausfällungen begleitet. Zum Schluß sei noch auf die vielumstrittene Querstreifung hingewiesen. Dieser strittige Punkt innerhalb der Histologie ist schon von vielen Autoren beschrieben worden. FORSCHNER spricht von einer ausgesprochen leiterförmigen Struktur; nach WALKHOFF haben diese Sprossen dieselbe Beschaffenheit wie die längs der Prismen verlaufende Kortikalschicht. Er stellte weiter fest, daß eine länger dauernde Unterbrechung des Verkalkungsvorganges Streifen nach Retzius erzeugt: Eine kurze, oft wiederholte Querstreifung der Prismen. In diesem Falle müßte also eine Entwicklungsstörung in Form einer Wachstumshemmung vorliegen. Schon frühe wurde von HANNOVER, HERTZ und BAUME eine schichtweise Ablagerung der Schmelzes angenommen.

TOMES erklärt die Querstreifung durch Überkreuzung der Prismen. Gegen die Ansicht WALKHOFFs wandte sich v. EBNER: Er schreibt, daß er durch Ätzen eines Schliffpräparates echte Querstreifung erhält. Allerdings variiert diese Erscheinung im optischen Bild. "Es ist somit auch noch nicht von vornherein bewiesen", wie WALKHOFF glaubt, daß "die den Prismen selbst angehörige, wirkliche Querstreifung schon in der ursprünglichen Anlage gesucht werden muß."

Die Schmelzoberfläche wurde auch mit dem Elektronenmikroskop untersucht. (MATSUMIYA, TAKUMA u. TSUCHIKURA, sowie RICHARD, THOMASSEN, GEROULD, SCOTT, WYCKOFF u. PICARD). Diese Autoren geben folgende Aufklärung über die Mikrostruktur der normalen Schmelzoberfläche: "Die Prismenenden erscheinen als Vertiefungen der Schmelzoberfläche. Es wird von einem kreis- oder schuppenförmigen Querschnitt berichtet, der manchmal auch sechs- oder vieleckig erscheint. Es wurden konstante Beziehungen zwischen Querschnitt und den Eindellungen der Prismenenden gefunden:

- 1.) Runde Formen weisen seichte Kugelschalen auf.
- 2.) Dem schuppenförmigen Querschnitt entspricht eine konkave Stelle nahe der vorgewölbten Grenzlinie....
- 3.) Die sechs- oder vieleckigen Formen weisen eine tellerförmige Vertiefung mit flachem Boden auf. -

Die Schmelzoberfläche, so heißt es, ist gleichmäßig verkalkt (lückenlos). Aus diesem Grund kommt die erwähnte Gliederung nur durch die

(räumlichen) Unebenheiten zum Ausdruck." In diesem Punkt besteht ein Unterschied zwischen der ursprünglichen, normalen Oberfläche und der mit Säure angeätzten - jene läßt nämlich strukturelle Unterschiede zwischen Prismen und interprismatischer Substanz erkennen. Der Durchmesser der Verkalkungselemente liegt bei 0,1 - 0,5 μ . Er kann jedoch, so wird weiter berichtet, entsprechend dem Grad der Verkalkung bedeutend abweichen. Im allgemeinen erscheint der Schmelz der Milchzähne rauher als an den bleibenden Zähnen. Ferner weist die Schmelzoberfläche im Elektronenmikroskop komplizierte Bildungen auf als Folge von Traumen, Defekten oder Schädigungen unbekannter Genese, ferner Anhängsel, wie Mikroorganismen, Zahnstein und Gewebsreste."

Entgegen der Versuchsergebnisse dieser obengenannten Autoren konnte HELMKE folgendes feststellen: An Hand seiner elektronenmikroskopischen Untersuchungen konnte er feststellen, daß die Ameloblasten ohne interprismatische Substanz dicht aneinanderliegen.

5. Allgemeine Betrachtungen über Zähne verschiedener Tiergattungen

a) Pferdezähne: Beschaffenheit und Struktur

Im sogenannten Zwischen- und Unterkiefer sitzen je 6 Schneidezähne in ihren Alveolen; es sind einwurzelige, schmelzeinhöckerige Zähne mit einer Schmelzeinstülpung an der Kaufläche. Die folgenden Beschreibungen stützen sich auf die Angaben von ELLENBERGER und BAUM.

Am Zahn selbst läßt sich ein extra- und ein intraalveolärer Teil erkennen. Die Farbe der Zähne schwankt zwischen gelblich-weiß und gelb-bräunlich. Bei 5 - 6 jährigen Tieren sind die Zähne 6,5 - 7,5 cm lang. Der erste Incisivus ist meistens etwas länger. Die oberen Schneidezähne sind, deutlich erkennbar, stärker gebogen als die unteren Incisivi. Der Kieferknochen zeigt, daß die Wurzeln dieser Zähne nach der Medianebene konvergieren. Fast lückenlos zeigt sich das frontale Gebiß. Die Labialfläche (Facies labiales) ist gewölbt und enthält im OK. u. UK. zwei flache Furchen. Die linguale Fläche weist eine konkave Wölbung auf. Nach der Wurzel zu verjüngt sich die Fläche, aber die Ränder verbreitern sich. Die Kauflächen verändern

sich durch Abrasion von der runden bis zur längsovalen Form; es kommt langsam zum Vielflächenkontakt. Eigenartige Vertiefungen an den Schneidezähnen werden "Kunden" genannt. Diese Vertiefungen sind schwärzlich und schwanken in der Größe zwischen 7 u. 14 mm. Durch die Kaufunktion verflachen sich diese Löcher nach längerer Zeit. Nach Angaben obiger Autoren kommen auch, ähnlich wie beim Menschen, Entwicklungsstörungen in der Zahnanlage vor. Von 8000 untersuchten Stuten besaßen 2-3% Hakenzähne in beiden Kiefern, 20-30% hatten kleine Hakenzähne im UK., und 6-7% ebensolche im OK. 70-80% aller Stuten besaßen keine Dentes Canini.

Auch bei Hengsten und Wallachen können in 1-1,8% ein oder mehrere Hakenzähne fehlen. Ich möchte darauf hinweisen, daß mit den Hakenzähnen die Eckzähne gemeint sind. Es sind schmelzeinhöckrige Zähne mit kegelförmigem Schmelzhöcker. Zwischen Eckzähnen und Molaren befindet sich eine große Lücke. Vorhandene Molaren: 24; es sind schmelzfaltige Zähne: 4 Reihen zu je 6 Zähnen. Die oberen Molaren zeigen 2 Schmelzeinstülpungen, sie sind etwas gekrümmt und etwas breiter als die Molaren des Unterkiefers.

Die Abrasion soll jährlich etwa 2,2 mm betragen. Die Wurzeln divergieren etwas, so daß zwischen den Molaren kleinere und größere Spalten vorhanden sind. Die Molaren des UK. sind schmelzfaltig, weisen jedoch keine Schmelzeinstülpungen auf; sie sind etwas länger als die oberen Molaren. Im Schlußbiß kommen nur die mesialen Teile der Kauflächen der unteren Molaren mit ihren Antagonisten in Berührung. Bei den Schneidezähnen soll das Wachstum an den "Zangen" (ELLENBERGER-BAUM) mit 5-6 Jahren, bei den "Mittelzähnen" mit 6-7 Jahren, bei den Eckzähnen mit 7-8 Jahren beendet sein.

b) Rinderzähne: Beschreibung des Wiederkäuergebisses

Dem Gebiß der Wiederkäuer fehlen die Frontzähne im OK. Als Ersatz können wir an dieser Stelle sehr oft scharfe, geriffelte Kanten sehen, die bei manchen Säugetieren fast messerscharf sind. Der UK. zeigt 8 weiße Schneidezähne. Der Eckschneidezahn kann als Caninus bezeichnet werden.* Die Frontzähne sind einwurzelig, schmelzeinhöckrig und haben einen meißelförmigen Schmelzhöcker. Ähnlich wie bei menschlichen Incisivi setzen sich die Kronen durch einen deutlich hervortretenden "Hals" von der Wurzel ab, die im Querschnitt

rund ist. Die Alveolen sind sehr klein und die Zähne oft etwas gelockert. Die labiale Fläche ist fast dreieckig und schwach gewölbt; die Kau- oder Abrasionsflächen sind etwas unterminiert und zeigen 1-2 schwache Leisten. An diesen Stellen kann man die fortschreitende Abnutzung deutlich erkennen. Die genannten Flächen werden durch einen stumpfen und freien Rand und durch 2 weitere Seitenränder bei älteren Tieren getrennt. Die Ränder bei jungen Tieren sind scharf; der freie Rand geht mit einer Wölbung in den mesialen, und unter spitzem Winkel in den lateralen Rand über. Die Milchschnidezähne haben eine schmalere Krone als die bleibenden Schnidezähne.

Beim Schaf kann man verhältnismäßig lange Incisivi sehen, sie sind auch schmaler. Die Wurzeln zeigen seitliche Einziehungen, so daß die Kronen sich allmählich verschmälern, allerdings unter flächenartiger Verbreiterung der Seitenflächen (Kontaktpunkte). Etwas undeutlich differenziert sich bei I_1 und I_2 der Zahnhals heraus. Die Beschaffenheit der Alveole ist günstiger, so daß die Zähne einen festen Halt haben. Bei Rindern, Schafen und Ziegen fehlen scheinbar die Hakenzähne. Der äußerste I_4 kann jedoch als Hakenzahn des UK. bezeichnet werden: Die Form ist aber schnidezahnähnlich geworden. An diesen Eigenarten erkennt man sehr deutlich die Morphologie der Gebißentwicklung. Im Bereich der Molaren findet sich eine zahlenmäßige Anordnung wie bei den Pferden. Die Größe nimmt vom ersten bis zum letzten Molaren allmählich zu. Im Seitenzahnbereich des OK. fallen 3 schmelzfaltige Prämolaren auf. Sie haben eine Schmelzeinstülpung, während die 3 Molaren 2 Einstülpungen aufweisen. Im UK. ist der 3. Prämolar nur schmelzeinhöckrig und hat einen meißelförmigen Schmelzhöcker. Die beiden anderen Molaren sind schmelzfaltig. Hier sieht man diese Merkmale nicht immer. Auch an menschlichen Zähnen sind nicht immer charakteristische Einstülpungen oder Zusatzhöcker, wie z.B. das "Tuberculum Carabelli", vorhanden. Die 3 Molaren im UK. haben wieder Schmelzfalten und 2 Einstülpungen. Diese Zähne sind einwurzelig, länger und zum Unterschied von den Pferdezhähnen deutlicher abgesetzt.

Die Milchmolaren des Kalbes sind besonders groß im Vergleich zu den bleibenden Prämolaren. Die Schnidezähne beenden ihr Wachstum nach Beginn der Abrasion. (ELLENBERGER) Die Backenzähne sollen noch etwas wachsen, bei Schafen und Ziegen mehr als bei Rindern. Diese Beobachtung wurde bei oberen Molaren gemacht.

c) Die Zähne im Gebiß der Fleischfresser (Carnivoren).

In den folgenden Versuchsreihen experimentierte ich mit Fuchszähnen. Es folgen nun allgemeine Betrachtungen über diesen Gebißtypus.

Im OK. und UK. stehen jeweils 6 einwurzelige, schmelzeinhöckerige Zähne mit kurzem Zahnhals. Eine Kaufläche ist vorhanden. Die oberen Zähne sind ganz besonders stark ausgebildet. Der I_3 ist größer als der I_2 . Die Antagonisten des UK. sind schwächer. Während die labialen Flächen gewölbt sind, zeigen die lingualen Flächen flache Aushöhlungen. Beide Flächen sind durch einen Rand getrennt, welcher 2 Einkerbungen hat, die sich auf die linguale Fläche fortsetzen, so daß der Rand in 3 Spitzen ausgeht. Diese Spitzen sind durch d. Ab-
rasion in vielen Fällen verschwunden. Beim Hund nehmen die I_3 nicht selten eine hakenförmige Gestalt an. Die Fangzähne, 4 gekrümmte Hakenzähne, sind schmelzhöckerige, einwurzelige Zähne mit kegelförmigem Schmelzhöcker. Im Querschnitt betrachtet, handelt es sich um eine runde Wurzel, die auch etwas plattgedrückt ist; man sieht fast kegelförmige Kronen, deren mesiale Flächen auf beiden Seiten eine sehr flache Furche haben. Der Hund (die Verhältnisse gelten auch für das Fuchsgebiß) besitzt auf beiden Seiten 6 Backenzähne im Oberkiefer und 7 im UK. Die Zahngröße nimmt bis zum 4. Molar des OK. und bis zum 5. Molar des UK. zu. Kleinere Zahnücken sind hier vorhanden. Der 4. Molar des OK. und der 5. Molar des UK. sind die größten Reißzähne.

Die bisher beschriebenen Molaren haben eine seitliche Einschnürung und sind dreispitzig; die mittlere Spitze springt am weitesten vor. Die letzten 2 Backenzähne im OK. und UK. zeigen eine Abrasionskaufläche, die im OK. größer als im Gegenzahnbereich ist. Ein bis 3 Wurzeläste sind sichtbar. Nach ELLENBERGER wird der 1. - 4. Molar des OK. und der 2. und 4. Molar des UK. gewechselt, während die anderen Zähne persistieren. Nicht selten kommen beim Hund überzählige Zähne vor. Nach HILZHEIMER und AGDUR bei durchschnittlich 10 % Rassehunden. Wildhunde stehen mit 1 - 2 % weit zurück. Noch häufiger kommt diese Anomalie im UK. vor. AGDUR beschreibt sie bei 42 % seiner untersuchten Rassehunde. Wildhunde sind nur mit 5 % beteiligt. HILZHEIMER gibt 18 % bei Haushunden und 7 % an, sowohl an Molaren wie auch an Schneidezähnen.

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß bei Zähnen von Fleischfressern das Längenwachstum mit Beginn der Kaufunktion abgeschlossen ist.

Damit möchte ich die allgemeinen Bemerkungen über verschiedene Gebißtypen und Zahnformen abschließen.

6. Allgemeine Betrachtungen über Schmelzlöslichkeitsversuche

Das vielumstrittene Problem der Schmelzlöslichkeit ist eng mit den zahlreichen Meinungen der Kariesätiologie verbunden.

HIPPOKRATES gibt wohl die älteste Erklärung über die Ätiologie der Karies ab. Er spricht von einer Stoffwechseltheorie, einem pathologischen Vorgang, der auf dem Vorhandensein schlechter Säfte beruht und Stockungen hervorruft. (zit.n.HELLEIN)

Paul v. AEGINA um 636 macht den vermehrten Säuregehalt des Speichels für die Entstehung der Karies verantwortlich. (zit.n.HELLEIN) Die erste Theorie ist die Entzündungstheorie von EUSTACHIUS. (zit.n.HELLEIN). Die Kalksalze sollen von innen zuerst gelöst und anschließend die Grundsubstanz des Schmelzes verflüssigt werden. KRÄUTERMANN behauptet 1732, daß die Zähne von einer besonderen Lymphe angefressen werden. (zit.n.HELLEIN)

RINGELMANN 1824, betrachtet neben örtlichen Fehlern der Zähne die Würmer, Säuren und "Unreinigkeiten" der Mundhöhle als Kariesursachen. BRIDGEMANN nimmt 1861 Stellung zur Kariesätiologie durch Veröffentlichung seiner Elektrizitätstheorie. Er berichtet: Jeder Zahn wirkt als Batterie, deren Strom Speisereste hydrolisiert, wodurch Säuren frei werden, die den Schmelz angreifen und später auch das Dentin vernichten. LEBER und ROTTENSTEIN sprechen um 1867 von einem Kariespilz: Die "*Leptothrix buccalis*" soll die Ätiologie klären, das Geheimnis über die Karies lüften. (zit.n.HELLEIN)

1884 wird die klassische Theorie von MILLER veröffentlicht. (EULER) Als Schüler von Robert Koch beschreibt MILLER den Einfluß der Mikroorganismen der Mundhöhle auf die harte Zahnschubstanz. Unter Heranziehung der damals noch jungen Bakteriologie stellt er seine "Chemisch-parasitäre Theorie" der Kariesätiologie auf: "Karies ist ein chemisch-parasitärer Zerstörungsprozeß, zu dessen Entwicklung

mehrere Faktoren rein örtlicher Art, oder örtlicher und allgemeiner Art zusammenwirken müssen." Diese Theorie von MILLER wird heute im allgemeinen anerkannt. Nach diesem Autor fällt der Schmelz hauptsächlich den im Munde entstehenden Gärungssäuren zum Opfer. Säuren bewirken seiner Meinung nach eine Auflösung der Kalksalze; somit kommt es zur Zerstörung, da die organische Substanz sehr schwach ausgebildet ist. Die Bakterien greifen nach MILLER mehr im Dentin an: Es kommt zu einer Ausbreitung und Auflösung des erweichten Rückstandes. Diese Theorie konnte sich 70 Jahre bis heute behaupten, und es vermochte bis zum heutigen Tage keine andere Theorie die MILLERtheorie ganz zu verdrängen.

Der Säureangriff auf die Zahnhartsubstanzen wird schon sehr lange histologisch untersucht. ANDRESEN fand 1902 nach Entkalkung in 4 %iger Formalinlösung mit 10 %iger Salpetersäure nach 12 - 24 Stunden im Zahnschmelz feine Fasern, die vom Schmelzoberhäutchen (SOH) zum Dentin zogen. C.F. BÖDECKER studierte als erster 1905 die Struktur des Schmelzes an entkalkten Celloidinschnitten.

Interessant sind im Hinblick auf Schmelzveränderungen die zahlreichen Versuche über Beeinflussung durch den Speichel. Es wird von einer zentripetalen Schmelzbeeinflussung durch den Speichel gesprochen. Viele Forscher, z.B. auch Türkheim, berichten von einem "Stumpfwerden" des Zahnschmelzes nach Genuß sauren Obstes. Allerdings soll dieser Zustand nur von kurzer Dauer sein.

Schmitz dagegen behauptet, daß ein derartig hartes Gewebe durch schwache Säuren kaum zur Ca-Abgabe veranlaßt werden kann. Die entstehenden Läsionen können vollständig vom Speichel ausgefüllt werden. Er tritt also für die Säureschutzfunktion des Speichels im Munde besonders ein. YARDENI erklärt dieselbe Erscheinung wie folgt: Die Kolloide der organischen Gerüstsubstanz (Prismenschläuche und Lamellen) sollen seiner Meinung nach zusammenschrumpfen. HEAD berichtet von seinen Experimenten: Zahnschmelz verliert nach 2-tägiger Lagerung in einer schwachen Säure (Orangensaft) sein glänzendes Aussehen; er beobachtet ein opakes Aussehen, und spricht jetzt schon von einer Einbüßung des ursprünglichen Härtegrades. Dieser Behauptung kann ich mich nicht anschließen, da die gewählte Säurekonzentration meiner Meinung nach äußerst schwach ist. Ferner heißt es, daß der Versuchszahn wieder seine alten Eigenschaften zeigt, sobald er 2 Wochen lang kariesimmunem Speichel ausgesetzt ist.

Zu Remineralisationsfragen haben zahlreiche Autoren in Veröffentlichungen Stellung genommen. Untersuchungen von BERGGREN, VOLKER, SOGNAES ergaben: Jugendlicher Schmelz weist nach Einwirkung radioaktiver Isotope eine viel stärkere Aktivität auf als alter Schmelz. Die Anlagerungskapazität für anorganisches Material ist beim jungen Schmelz größer.

ANDRESEN, TÜRKHEIM u. PICKERILL sprechen von einer Kompensierung durch Anlagerung von anorganischem Material an den Schmelz. WOLF und NEUWIRT sprechen von einer Reparation, LEIMGRUBER von einer Rekristallisation des Schmelzes. KNAPPWOST berichtet von einer Deckschichtenbildung, Vorgänge, welche mit der Bildung von Reizdentin verglichen werden können. Die allgemeine Ansicht geht dahin, daß bei Mineralisationsprozessen tatsächlich neues Material notwendig ist. Diese Autoren stellen sich die Heranführung anorganischen Materials auf die Schmelzoberfläche folgendermaßen vor: 1.) intradental, via Pulpa - Dentin, 2.) extradental, d.h. durch Vermittlung des Speichels. Von EBNER, BOEDECKER, G. FISCHER, FABER, CSERNEYEI, FORSUHFUD u.a. sind der Ansicht, daß die intradentale Heranführung des zum Reifungs- und Remineralisationsprozeß notwendigen Materials ohne das Vorhandensein von Stoffwechselabläufen schlecht möglich ist. WOLF u. NEUWIRT, sowie RHEINWALD u. STAEBLE stellten nach ihren neueren Untersuchungen fest: "Die Theorie der endogenen Remineralisation kann die auf der Schmelzoberfläche abspielenden Vorgänge niemals erklären. Dieser Prozeß läuft gleicherweise an vitalen wie auch an marktoten Zähnen ab."

APPLEBAUM beschreibt Schmelzversuche mit polarisiertem Licht: Hier soll eine Remineralisation kariöser Stellen vom Speichel her beobachtet worden sein.--

Die zunächst so erfolgversprechende Kariesprophylaxe künstlicher, exogener Schmelzremineralisation konnte sich nicht lange halten. EHRENSBERGER berichtet, daß der Remineralisationsprozeß sehr langsam verläuft. Seiner Meinung nach könnte nur die unveränderte organische Substanz als Kalkfänger in Frage kommen. WEBER berichtet von Untersuchungen an Kalbschneidezähnen im Speichel: Sie zeigten nach 14 Tagen keine Remineralisierung. Die Zähne waren nur oberflächlich entkalkt, und sie gaben sogar noch weiter Ca an den Speichel ab! Zähne, die zuvor in alkalischer Lösung aufbewahrt wurden, hatten nach WEBER keinen Ca-Verlust erlitten. Nach Imbibition in schwach

saurem Speichel erfolgte allerdings Ca-Abgabe. WEBER glaubt, daß die Remineralisation in schwach saurem Speichel ihren Fortgang nimmt.

Zu einem späteren Zeitpunkt stellte SCHMITZ nach Versuchen an intakten Zähnen eine ständige Abgabe von kleinen Ca-Mengen fest.

NEUWIRT und WOLF berichten, daß die Schmelzoberfläche entweder durch Säuren angegriffen wird oder mechanischen Schäden ausgesetzt ist. Ihrer Meinung nach bildet sich eine festhaftende, homogene Kalkschicht. Versuche an lebenden und toten Zähnen ergaben, wie schon erwähnt, keinen Unterschied hinsichtlich der Intensität und der Qualität der reparatorischen Vorgänge. Auch an der unbeschädigten Schmelzoberfläche veränderte sich das Relief in gewissen, unregelmäßigen Zeitabständen.

SCOTT und WYKOFF stellten durch Schattenmikrofotografie auf der Schmelzoberfläche eine stark verkalkte Schicht fest.

Bei Betrachtung der geschilderten Versuche kann man sagen, daß ein größerer Ionen-Austausch im Schmelzgewebe nur rein oberflächlich am Schmelz durch den Speichel möglich erscheint. Der Speichel hat also u.a. die Aufgabe, im Munde für einen Gleichgewichtszustand zu sorgen.

In den letzten Jahren befaßten sich sehr viele Autoren mit dem Problem der Fluoreinlagerung in die Schmelzmatrix. Der Schmelz soll wahrscheinlich kariesimmun gegenüber Säuren und proteolytischen Einwirkungen werden. Allgemein herrscht die Meinung, daß der Apatit (die Grundsubstanz des Schmelzes) dichter und weniger säureempfindlich als hydriertes Tricalciumphosphat ist: Die Härte wird in diesem Falle auf den Gehalt an Carbonat-Apatit zurückgeführt. Der Kristalltyp des Apatits zeichnet sich durch außerordentliche Festigkeit und durch die Fähigkeit der Stoffeinlagerung aus. Ferner hat er eine "ungewöhnliche Fähigkeit zu isomorphem Ersatz von Gitterbausteinen". (KNAPPWOST) Es kann nun zu chemischen Umwandlungen kommen; verschiedene Autoren schreiben von einem Ersatz der Gitterbausteine (GRUNER), und sprechen von einer Substitution: Chlor und Fluor werden an Stelle der OH-Position in das Apatit-Gitter eingebaut; auch C, Si, As, S, ferner Mg, K und Na können - so wird behauptet - das Calcium im Apatit substituieren. Das Raumgitter bleibt immer erhalten, nur die Gitterkonstanten ändern sich.

Wie steht es nun mit dem Säureangriff am Schmelzoberhäutchen? Nach GREVE können die im Speichel gelösten Ca-Salze nicht durch das SOH dringen. PEDERSEN und andere sagen: "Es scheint möglich, daß die Schmelzoberfläche bzw. die Nasmythsche Membran PO_4 -Ionen mit dem Speichel austauschen kann. Das SOH soll permeabel sein. Es soll säureresistent sein und sich nur nach vorausgegangener, unterminierender Entkalkung ablösen, nicht jedoch durch primäre Säureschädigung." Diese Tatsache zeigte sich immer wieder bei meinen Experimenten bestätigt.

Die vielen in vivo P^{32} -Versuche beweisen, daß das SOH einem Ionenaustausch nicht hindernd im Wege steht. Man vermutet sogar, daß bei Defekten der Schmelzoberfläche die verlorengegangene, schützende Funktion des Oberhäutchens durch vermehrte Anlagerung von anorganischer Substanz kompensiert wird. In der Literatur besteht noch keine Klarheit darüber, ob die Anlagerung von Speichelpartikeln an das Schmelzpatitgitter auf rein chemisch-physikalischem Wege vor sich geht, oder ob hierzu analog der Knochenapposition die enzymatische Unterstützung des Fermentes Phosphatase notwendig ist.

Die Mehrzahl der Experimente über Schmelzlöslichkeit sind in Verbindung mit der Speichелеinwirkung oder der Fluorwirkung gemacht worden. BINDER isolierte bei seinen Untersuchungen über Speichelpartikelanlagerungen vorsichtig den Schmelz vom Dentin, und brachte die so gewonnenen Scherben nach sorgfältiger Präparation in eine Milchsäure (pH - 4,1) für 12 Stunden. Nach dem Trocknen konnte er eine Entkalkung durch Löslichkeit der Schmelzoberfläche sehen. Das SOH wurde bei diesem Prozeß abgelöst. Er benutzte für diese Versuche Schneidezähne frisch geschlachteter Kälber; ferner kamen noch Milchsneidezähne und bleibende Incisivi von Personen über 30 Jahren zur Untersuchung. Die Schmelzscherben wurden annähernd gleichgroß gemacht. Die Säurewerte, bzw. Entkalkungswerte verhalten sich in seinen Aufzeichnungen wie folgt: Kalbschneidezähne > Milchsneidezähne > bleibende Schneidezähne.
(Menschenzähne s.o.)

(Menschenzähne)

(Definition > = Grad der Intensität der Säureeinwirkung) Menschliche Zähne scheinen demnach säureresistenter zu sein.

Ein wichtiger Faktor bei der Entstehung der Karies sind die Gärungssäuren. Durch die Gärung von Speiseresten in der Mundhöhle kommt es zu einer Ansäuerung. Nun gehen Kalksalzlösung aus dem Schmelz und

Bakterienangriff Hand in Hand. Seit MILLER ist die wichtigste Säure die Milchsäure, das Gärungsprodukt aus den Kohlehydraten. WOHINZ stellte fest, daß bei Laboratoriumsversuchen die Milchsäure viel zu langsam entkalkt. Er glaubt, daß in dieser Zeit der Speichel die Milchsäure unschädlich macht. Nach LAMMERS ist nicht die Menge der gebildeten Gärungssäuren, sondern die Stärke des pH-Abfalles maßgebend. Durch Verschiebung des pH-Wertes verändert sich die mikrobiologische Kraft der säurebildenden Bakterien in der Mundhöhle.

Nach HELLEIN werden Zähne, die in vergärten Zuckergemischen liegen, nach 3-8 Tagen kreidig verfärbt. Der Säureangriff erfolgt hier sehr deutlich und schnell. HELLEIN stellte folgende in vitro-Versuche an: Vollkommen intakte Zähne, die mit Wachs überzogen waren und ein Fenster enthielten, sowie Zahnschliffe, wurden in verschiedene Zucker-Speichelgemische gelegt. Der Anfangswert des Speichels ist mit einem pH von 7,8 angegeben. Die nach Tagen eintretende Säurebildung zeigte charakteristische Veränderungen an der Zahnhartsubstanz. Erst nach 14 Tagen verfärbte sich der Wachszahn. Der Zahnschliff war nach 5 Tagen kreidig verfärbt und abschabbar nach 14 Tagen. An Hand dieser Versuchsreihen können die Einwirkung der Milchsäure- und der alkoholischen Gärung verfolgt werden. Er stellte fest, daß die Monosaccharide schneller und stärker vergoren werden als die Disaccharide. Die größte Säuremenge wies in seinen Versuchen ein Mehlspeichelgemisch auf. Der geringste Angriff wurde bei der Lactose beobachtet.

Einen Beitrag zu diesem Thema liefert KRIEGER. Er beschreibt eine einfache und schonende Entkalkungsmethode des Schmelzes. Im Verlauf der letzten Jahrzehnte wurden sehr viele Entkalkungsverfahren entwickelt und veröffentlicht. Es konnten jedoch noch keine einheitlichen Ergebnisse erzielt werden. In einem besonderen Schnellentkalkungsverfahren soll man neben Zonen bereits vollendeter Auflösung der Ca-Salze mit graduellen Unterschieden Partien bis zu kaum erkennbarer Entkalkung sehen. Eine wichtige Forderung für die in Gelatineblocks eingebetteten Zähne: Die Säure muß an allen Punkten der Objektoberfläche gleichmäßig und gleichzeitig angreifen. Unter diesem Gesichtspunkt habe ich auch meine Experimente durchgeführt, die später noch ausführlich diskutiert werden.

Nach KRIEGER und anderen Autoren schont "nur die ausgeglichene Säurewirkung das organische Schmelzgewebe vor zerstörenden Zerrungen

und Druckmomenten". Ausgegliche Säurewirkung heißt ununterbrochene Einwirkung einer konstant gehaltenen Säurekonzentration in diesem Fall auf die Schmelzoberfläche. Zu hohe Konzentrationen, sowie eine zu lange Einwirkungsdauer schädigen das Schmelzgewebe wie oben angegeben. Die histologische Technik setzt aus diesem Grunde ein einwandfreies Experimentieren voraus.

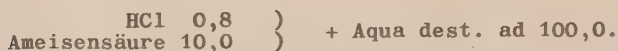
Ein weiteres Problem bei fortschreitender Entkalkung ist der Anstieg der Kohlensäuremenge. Der Gelatineblock (Methode KRIEGER) verliert ständig an Gewicht und erfährt durch die Gasbildung einen Auftrieb. Es muß für einen guten Abzug gesorgt werden. Die Größe der Schmelzteile spielt keine Rolle. Es können Schliffe von 1 mm Stärke, sowie ganze Zahnkronen verwendet werden. Bei diesen Versuchen werden frisch extrahierte Zähne, in Formalin fixiert, sofort oder nach 24 Std. Wässerung auf den Boden eines gläsernen Entkalkungsgefäßes gelegt, das bis zu seiner halben Höhe mit 25 %iger, zähflüssiger Gelatine gefüllt ist. Die heiß verwendete Gelatine ist nach Abkühlung fest, und kann mit 5 %iger Salpetersäure aufgefüllt werden. Diese Konzentration vermag 25 %ige Gelatine schon nach 1-2 Tagen zu lösen. KRIEGER erreichte somit eine sehr langsame Säurediffusion in das Bodenfünftel des Glasgefäßes, die zur Lösung der Kalksalze ausreichte und zugleich die organische Schmelzmatrix fixierte. Er gibt als Entkalkungszeiten für Schmelzschliffe von 1-3 mm Stärke eine Woche, und für Zahnkronen bis 4 Wochen an. Es sind Mittelwerte über 24 Schliffentkalkungen von 1-3 mm Stärke und 18 Entkalkungen an Zahnkronen menschlicher Zähne angegeben.

Schmelzstücke, welche einer elektronenmikroskopischen Betrachtung vorbestimmt sind, sollen nach ähnlichen Gesichtspunkten entkalkt werden, um submikroskopische Strukturänderungen zu vermeiden. Die Schliffe sind hier nur 1 mm dick, und die Säureeinwirkung muß auf ein optimales Zeitminimum verkürzt werden.

BIRKENHAUER beschreibt ebenfalls ein Verfahren zur elektrischen Schnellentkalkung. Die angestellten Versuche sollen ebenfalls gewebeschonend sein. Er verwendet niedrig konzentrierte Säuren. Als Entkalkungszeiten gibt er für menschliche Zähne 3-6, im Durchschnitt 4 Wochen an. Das Säurebad besteht in diesem Falle aus 7,5 %iger Salpetersäure mit Formolzusatz. Die Zeit soll durch Entkalkung im elektrischen Feld um 9/10 abgekürzt werden. Die Säuren müssen die ursprünglich wasserunlöslichen Salze in wasserlösliche Salze umsetzen.

Die Stärke der Säure wird durch die Menge der abdissoziierten H^+ - Ionen bestimmt, deren Zahl auch die elektrische Leitfähigkeit bestimmt. Die beschriebene Schnellentkalkung beruht auf folgendem System: Durch Stromeinwanderung in die Säure kann die Ionenwanderung ausgerichtet werden. Die Geschwindigkeit der Ionen ist abhängig von der Anzahl der vorhandenen Ionen und von der Stärke des fließenden Gleichstromes. (MÜLLER) Durch dieses Verfahren kann also auch eine Beschleunigung mit schwächeren Säurelösungen hervorgerufen werden.

Die histologische Technik wird von ROMEIS beschrieben. Darnach ist der Entkalkungsprozeß am besten und am schonendsten in einem Stromfeld bei Temperaturen zwischen 30° und 45° C in folgender Lösung:



Als Anode bzw. Kathode eignet sich Elektrolytkohle oder Platindraht. Zur Durchführung sind besondere Apparate angegeben, die den Anforderungen gerecht werden. Der Entkalkungsflüssigkeit wird dann noch Ameisensäure zugesetzt: Dadurch soll die Wirkung der stark dissoziierten HCl gemindert werden. Bis zu 20 Zähne unterschiedlicher Herkunft und Alters wurden in 150 ccm Flüssigkeit gemeinsam entkalkt. Die Reaktion soll nach 2 Tagen bei einem Stromfluß von 0,5 Ampère eintreten.

Wie kann die Schmelzlöslichkeit durch Fluor beeinflusst werden? Die Literatur weist gerade hierüber zahlreiche Vorschläge an Hand verschiedenster Experimente auf. SCHLEGEL berichtet über die Herabsetzung der Löslichkeit durch lokale Fluorisierung. Er beschreibt die Lösungsgeschwindigkeit des Schmelzapatits frisch extrahierter Zähne vor und nach der Imprägnierung mit verschiedenen, fluorhaltigen Mitteln. Als Maß der Lösungsgeschwindigkeit wird die Menge Phosphationen bestimmt, welche nach 10 Minuten durch die Einwirkung einer sauren Lösung (pH3) aus der Schmelzoberfläche herausgelöst wurde. SCHLEGEL analysiert die Phosphationen durch eine genau beschriebene Molybdat-Reaktion, die kolorimetrisch ausgewertet wird. Schon nach 5 Minuten Einwirkung einer 2 %igen NaF-Lösung, bzw. einer Imprägnierungslösung Cervin (= Magnesiumfluorsilikatlösung), konnte die Lösungsgeschwindigkeit um etwa 30 % herabgesetzt werden. Allerdings spricht SCHLEGEL in diesem Falle nur von einem oberflächlichen Effekt. Nach 2 Minuten Bürsten soll der obige Wert auf 15 - 20 % sinken, wenn eine Na-Silikofluoridlösung verwendet wird.

Eine Erklärung zu diesen Fluorwirkungen gibt u.a. DILLON. Er beschreibt mehrere Reaktionen von löslichen Fluorsalzen ($\text{NaF} + \text{Na}_2\text{SiF}_6$) mit Ca-Salzen, Phosphaten, Sulfaten und Karbonaten. Bei seinen Versuchen entsteht dabei immer unlösliches CaF_2 . Auch mit Oxalsäure ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) konnte er weniger lösliche Kalziumsalze herstellen. Nach seinen Angaben bildet das gefällte CaF_2 eine schwer filtrierbare, gelatinöse Substanz. Bei Berührung mit NaF bildet sich an der Oberfläche von CaSO_4 eine Schicht von CaF_2 , welches als Endzustand einer abgelaufenen Reaktion inaktiv bleibt! Nach DILLON stellen die Interdentalräume und die kalkarmen Stellen des Schmelzes bei der lokalen Fluorapplikation Schwachpunkte dar. Hier ist die Prophylaxe gerade am nötigsten. An diesen Stellen können sich Fluorsalze nicht einlagern. Der Autor glaubt auf Grund von Härteprüfungen am Schmelz an eine Härtesteigerung auch durch die weniger giftige Oxalsäure.

Über den heutigen Stand der Fluorprophylaxe der Zahnkaries schreiben andere Autoren folgendes: JEANNERET berichtet, daß Härteprüfungen am Schmelz leichter durchführbar sind als chemische Analysen, oder, wie auch in der vorliegenden Arbeit, Lösungsversuche gegenüber Säureangriffen. PHILLIPS bestätigt die beschriebene Wirkung mit 2 % NaF auf die Schmelzoberfläche. Er berichtet, daß die Zahnoberfläche 5 Minuten lang einer Säure (pH 4) ausgesetzt wurde. Die Härte soll sich darnach um 17 % reduziert haben. Nach vorheriger Fluoreinwirkung konnte er eine beträchtliche Härtezunahme messen. Mit Zinnfluorid war die Zunahme noch größer. Mit PbF (Blei-fluorid) soll der Effekt doppelt so hoch wie bei NaF sein. Das Tuschieren mit derartigen Flüssigkeiten ist nach PHILLIP viel wirksamer als das Eintauchen der Zähne. Nach 25 Minuten soll es sogar zu einer tiefen, festen und physikalisch-kristallinen Bindung kommen.

BAUME gibt eine Erklärung über die Durchdringbarkeit der Schmelzsubstanz, z.B. durch Säuren ab. Er zitiert nach FOSDICK: "Protein bildet mit den Kristallen Salze, so daß, zwischen der organischen Kittsubstanz und dem Prismeninnern nur ein Unterschied etwa wie in der Dichte der Metalle besteht. Die Kristalle, so heißt es, bestehen aus reinem Hydroxylapatit in der Größenordnung $3 \times 10^{-6} \mu$ wahrscheinlich mit je 6 Molekülen im Gitter. Vom Abstand der Ionen, wie sie im Kristallgitter verteilt sind, hängt die Durchdringbarkeit fremder Substanzen ab.

MASSLER experimentierte mit der Wirkung verschiedener Fluorsalze hinsichtlich ihrer Hemmung auf die Ätzwirkung von Säuren. Die eine Hälfte des Zahnes (der gereinigten Schmelzoberfläche) wurde verschieden lang in eine Fluorlösung getaucht, während die andere Hälfte nicht fluoriert zur Kontrolle diente. Der ganze Zahn wurde dann in Milchsäure (pH 3,9) gelegt und die Zeit festgehalten, die benötigt wurde, um den Schmelz anzuätzen. Intakter Schmelz Erwachsener, der 2 % NaF 24 Stunden ausgesetzt war, widerstand der Ätzung 90 ($\pm$ 10) Minuten. 40 Fluorsalze wurden auf diese Weise getestet. Natriumsiliko-Fluorid, so berichtet der Autor, war am wirkungsvollsten. Diese Lösung soll den ausgereiften Schmelz gegen Milchsäure-ätzung 60 ($\pm$ 10) Minuten nach 5 Min. Eintauchen, 240 Min. nach 1 Std. und 3000 Min. nach 24 Std. Einwirkung schützen. Ob nun Fluor-Ionen wirklich in die Struktur der Oberfläche der dünnen Schmelz-Apatit-Kristalle eintreten oder nicht, wird hier als noch ungeklärt angegeben. Der Schichtabstand ist nur unwesentlich kleiner als der des Hydroxylapatits. (NARAY)

Interessante Untersuchungen, die vom oberflächen-histologischen Gesichtspunkt aus an Zähnen durchgeführt wurden, stellen weitere Beiträge zu dem Säure-Schmelz-Problem dar. WOLF und MAY berichten von einer Adhäsionsreliefmethode. Auch hier wurden Zahnoberflächen der Säurewirkung ausgesetzt. Man benutzte präparierte und unbearbeitete Oberflächen von extrahierten, menschlichen Molaren. Zur Definition der Präparation: Mit verschiedenen Schleifinstrumenten werden die natürlichen Rundungen der Schmelzflächen plan-geschliffen und poliert.

Nach Einwirkung von Fruchtsäften in verschiedenen Zeitabständen zeigten sich im Entkalkungsprinzip Unterschiede zwischen den genannten Flächen. Da es hier auf den grundsätzlichen Wirkungsgrad ankam, gelangten, wie auch in meinen Versuchen, verschiedene Säuren zur Anwendung. Nach kurzer Zeit sahen die beschliffenen Flächen, zum Beispiel durch Fruchtsafteinwirkung, matt aus. Bei Zitronensaft sollen schon nach 10 Min. aufgerauhte Flächen unter Vergrößerung der Schliffrrillen zu beobachten sein. Starke Säuren, wie 25 %ige HNO_3 und konzentrierte HCl verursachten in weniger als 2-5 Min. die selben Ätzbilder. Die mit den gleichen Versuchsreihen an Milchzähnen gewonnenen Ergebnisse lassen keine besonderen Unterschiede erkennen. Trotzdem glaube ich, daß die Milchzahn-Hartsubstanz wahrscheinlich

schneller vonstatten geht. Retinierte Zähne zeigten schon nach kürzester Einwirkungszeit der Säuren plastische Strukturbilder. Vermutlich hängt diese Tatsache mit der noch unvollständig ausgebildeten Nasmythschen Membran zusammen.

Aus diesem Bericht kann man entnehmen, daß die Einwirkung des Agens auf die bearbeiteten Zahnoberflächen bei höherer Säurekonzentration stärker ist. Im Zentrum der beschliffenen Fläche zeigte sich die größte Einwirkung. An den anderen Stellen macht sich nach WOLF die schützende Funktion des Schmelzoberhäutchens bemerkbar.

Zum Abschluß dieser Betrachtungen möchte ich noch von Versuchen amerikanischer Autoren berichten, die mit gepulvertem Schmelz durchgeführt wurden. Veröffentlichungen von MUHLER, VAN HUYSEN u.a. zeigen interessante Ergebnisse. In einem Falle wurde mit 9 gepufferten und ungepufferten Fluornatrium-Reagenzlösungen gearbeitet. Zu den verschiedenen Pufferlösungen gab man jeweils abgemessene Säuremengen hinzu. MUHLER zeigt an Hand von Tabellen, daß die Entkalkung z.B. durch Essigsäure mit einem Gewichtsverlust des Zahnes verbunden ist. Es handelt sich bei diesen Versuchen um gepufferte und ungepufferte NaF-Reagentien zum Schutz der Schmelzsubstanz.

Ähnliche Experimente werden auch von der Phosphatlöslichkeit des Schmelzes gezeigt. FINN u.a. kommen dem Problem näher, indem sie eine Messapparatur benutzen, die auf $0,1 \mu$ genau messen kann, wie weit eine bestimmte Kraft einen Standart-Bohrer in gesunden und teilweise entkalkten Schmelz treibt. Diese Versuche werden in ähnlicher Weise auch von mir mit dem Bohrerprüfgerät durchgeführt. Allerdings haben obige Autoren nur Zahnschleife benutzt. Später nahmen PICKERILL und DOBBS scharfe Instrumente, und prüften auf diese Weise ebenfalls die Erweichung oder Entkalkung. Sie stellten auch das Gewicht der Schmelzmenge fest, die mechanisch gewonnen werden konnte.

In einer gemeinsamen Arbeit berichten RAE, CLEGG u.a. über die Schmelzlöslichkeit bei Verwendung verschiedener Salzkonzentrationen. Sie experimentierten u.a. mit Trikalzium-Phosphat in 1 %iger Milchsäure. Es wurden ebenfalls Versuche mit ganzen Zähnen durchgeführt. In einer Schlußfolgerung heißt es, "daß konzentrierte Lösungen von Ca- und P-Salzen, wenn sie in derartigen Versuchen angewandt werden, die wirkliche Schmelzlöslichkeit herabsetzen." Dieses Ergebnis wird durch Phosphat-Analysen bestätigt. Lösungen, die 16 mg % Ca und 10 mg% P enthalten, sollen einen wirksamen Einfluß auf die Zähne ausüben.

III.

EXPERIMENTELLER TEIL

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Schmelzlöslichkeit mehrerer Säuren auf verschiedene Menschen- und Tierzähne an Hand praktischer Versuche gezeigt werden. Absichtlich habe ich im ersten Teil mehrere Vorschläge aus der Literatur beschrieben; sie zeigen immer wieder sehr deutlich die großen Schwierigkeiten bei den Versuchen, die sich durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Schmelzstruktur ergeben. Die Zähne einer Tierart, ja sogar eines Einzeltieres, sind verschiedenen Schwankungen in ihrer Struktur unterworfen.

Vergleichend anatomische Studien sind immer sehr lehrreich und anschaulich. Die untersuchten Zähne waren zum größten Teil intakt oder nur mittelmäßig kariös. Alter und Beschaffenheit wurden genau festgelegt. Zur Untersuchung gelangten rd. 290 Zähne (Menschenzähne und Zähne von 7 verschiedenen Tiergattungen).

Im Mittelpunkt meiner Beobachtungen stand der Säureangriff von 2 anorganischen und 2 organischen Säuren auf die Schmelzsubstanz. Allgemein ist die Reaktionsfähigkeit einer Säure durch ihre Stärke (Dissoziationsgrad) und ihre Schwerflüchtigkeit bestimmt. In dem Aufbau dieser Verbindungen erkennen wir die Wasserstoff-Ionen. Meist entstehen sie durch die Umsetzung eines Nichtmetalloxyds oder Säureanhydrids mit Wasser, z.B. $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3$. Das genaue Maß der Säurestärke ist der Dissoziationsgrad. Die Flüchtigkeit, d.h., der Siedepunkt der Säure oder ihres Anhydrids bestimmt die Wirksamkeit bei der gewählten Reaktionstemperatur. Weiter möchte ich auf die Definition einer Säure nicht eingehen.

Als 1. Säure bei meinen Versuchen experimentierte ich mit der Schmelzlöslichkeit bei Einwirkung von Salpetersäure. Die reine, konzentrierte HNO_3 ist farblos, riecht stechend und raucht an der Luft. Die physikalischen Daten zeigen $K_p + 86^\circ \text{C}$, $E_p - 42^\circ \text{C}$, Artgewicht = 1,56 bei 0°C . (Kondensationspunkt und Erstarrungspunkt = K_p u. E_p). Unter Lichteinwirkung tritt durch Bildung von NO_2 Gelbfärbung ein, deshalb darf diese Säure nur in dunklen Flaschen aufbewahrt werden. Sie ist eine der stärksten anorganischen Säuren. (MÜLLER) Neben ihrer Ätzwirkung fällt die starke Oxydation auf. Alle Metalle, mit

Ausnahme von Gold und Platin, werden von HNO_3 oxydiert und anschließend in Nitrate überführt.

Die 2. Säure in meinen Versuchsreihen ist die Salzsäure (HCl). Es ist eine Halogenwasserstoffsäure, ebenfalls anorganischen Charakters. Die Halogenwasserstoffsäuren (dazu gehört auch die Flußsäure), sind aber nicht aus Oxyden und Wasser entstanden. Sie enthalten keinen Sauerstoff, und haben daher auch kein Anhydrid. Reine Salzsäure ist eine farblose Flüssigkeit mit saurem Geschmack und saurer Reaktion. Rohe Salzsäure hat eine gelbe Farbe, die auf Verunreinigungen durch Eisenchlorid und andere Stoffe zurückzuführen ist. Der starke Geruch entsteht durch den entweichenden Chlorwasserstoff. Die Säure ist in der Lage, viele Metalle zu lösen und mit ihnen Chloride zu bilden.

Die übrigen Versuche wurden mit 2 organischen Säuren durchgeführt; Ameisensäure (HCOOH) und Essigsäure (CH_3COOH).

Wir haben es hier mit den Abkömmlingen der niederen Fettsäuren zu tun. Dieselben tragen ihren Namen von den höheren Gliedern dieser Reihen, die in den Fetten enthalten sind. Es ist eine sogenannte stufenweise Oxydation, die von den gesättigten Kohlenwasserstoffen über die Alkohole und Aldehyde zu den Fettsäuren führt. Die Endprodukte können dann durch Oxydation CO_2 und H_2O sein. Es ist eine langsame Oxydation, welche die Aldehyde zu Verbindungen macht, die mit Metallen Wasserstoff entwickeln und Salze bilden. Hier sind nur org. Säuren entstanden, die das charakteristische Radikal-COOH, die Carboxylgruppe im Molekül aufweisen. Am einfachsten ist die Ameisensäure gebaut: Methansäure, $\text{Ep} + 3^\circ \text{C}$, $\text{Kp} + 101^\circ \text{C}$. Diese Säure findet man in den Giftdrüsen von Ameisen und von Bienen.

Durch Oxydation von Äthylalkohol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) entsteht Essigsäure. Das Ferment, die "Alkoholoxydase", vereinigt Luftsauerstoff mit Alkohol zu CH_3COOH und Wasser. Die Metallsalze dieser mittelstarken Säure, die Acetate, entstehen durch Einwirkung auf ein Metall oder auf dessen Lauge. Die physikalischen Daten sind: $\text{Ep} = + 16^\circ \text{C}$, $\text{Kp} = + 118^\circ \text{C}$. In der Technik erfolgt die Herstellung entweder aus Graukalk oder durch katalytische Oxydation von synthetischem Acetaldehyd.

Die soeben beschriebenen organischen Säuren besitzen (konzentriert) einen stechenden, unangenehmen Geruch. Bei normaler Temperatur sind sie flüssig und mit Wasser mischbar. Die Reaktionsfähigkeit

der Gruppe der niederen Fettsäuren nimmt mit wachsender C-Zahl ab.

Bei der Wahl der Säurekonzentrationen richtete ich mich u.a. nach den Angaben von ROMEIS. Nach MURAYANA stellte ich eine Verdünnung von konzentrierter Ameisensäure her und zwar mit der gleichen Menge 70%-Alkohol. Die schmelzlösende Wirkung ist bei der Ameisensäure im Vergleich zu den anderen 3 beschriebenen Säuren sehr gering; deshalb nimmt der Vorgang viel mehr Zeit in Anspruch.

Die Essigsäure benutzte ich als 5%ige wässrige Lösung. Wie ich in meinen graphischen Darstellungen am Schluß zeigen kann, geht der Entkalkungsprozeß wesentlich schneller vor sich. Nach ROMEIS soll eine Entkalkung bei kleinen Stücken schon nach 1-4 Tagen eingetreten sein.

Die Salzsäurekonzentration wählte ich nach verschiedenen Angaben der Literatur als 5 %ige Lösung. In der Regel wird nach EBENER eine NaCl - HCl - Lösung sehr selten in der histologischen Technik benutzt. Zellstruktur und Färbbarkeit der Kerne leiden durch Salzsäure. Da es in meinen Experimenten nur auf die Schmelzlöslichkeit ankommt, habe ich ebenfalls HCl zum Vergleich mit herangezogen.

Im histologischen Laboratorium wird wohl am häufigsten die Salpetersäure verwendet. Die meisten Autoren geben Konzentrationen zwischen 4 und 7 1/2 % an. Die HNO_3 entkalkt für histologische Zwecke menschliche Zähne in ungefähr 6 Tagen. Die Einbettung vor dem Säurebad, wie ich sie schon beschrieben habe, hat sich zur Schonung des Schmelzgewebes außerordentlich gut bewährt. Die verschiedenen Säurekonzentrationen bekam ich aus dem Analysenlabor des anorganisch-chemischen Institutes der Universität Mainz. Die Gewähr für einwandfreie Zubereitung dürfte somit gegeben sein. Die einzelnen Säuren wurden immer in Spezialflaschen aufbewahrt.

Die Auswahl des Zahnmaterials geschah ebenfalls nach verschiedenen Gesichtspunkten. Wie schon erwähnt, habe ich etwa 290 Menschen- und Tierzähne zu meinen Versuchen herangezogen. Sämtliche Zähne waren vor der Säurebehandlung in Formalin fixiert. Vor dem Säurebad wurden sie gründlich gereinigt; kariöse Stellen, Alveolenknochen, Gingiva etc. wurden mechanisch entfernt. Nach den Angaben früherer Versuche kamen die Zähne dann gruppenweise in einen Trockenschrank: Dauer 24 Std. bei 42° C. Vorher waren die Gruppen genau nummeriert und jeder einzelne Zahn genau registriert (Alter, Zahnart, Herkunft, Tiergattung etc.). Nach 24 Std. Brutschrank kamen immer mehrere

Gruppen (Gruppenstärke 6 - 12 Zähne) in eine der 4 Säuren. Aus dem histologischen Labor standen mir genügend Glasschalen und andere Gefäße zur Verfügung. Die genaue Beschreibung dieser Versuche möchte ich bei der Besprechung der einzelnen Tabellen vornehmen.

Eine sehr wichtige Maßnahme war die Gewichtsbestimmung der Zähne nach dem Trocknen, unmittelbar vor dem Säurebad. Ich weise ausdrücklich darauf hin, daß sich bei meinen Vorversuchen Fehlerquellen ergaben, die ich zuerst beseitigen mußte. Je nach Wetterlage, Raumtemperatur etc. unterliegen fast alle Zähne mehr oder weniger großen Gewichtsschwankungen. Es stellen sich Gewichtsschwankungen besonders an großen Molaren schon nach wenigen Stunden ein, wenn diese Zähne aus dem Trockenschrank kommen. Umgekehrt beobachtete ich während meiner Vorversuche Gewichtsverluste bei sehr trockenen Luftverhältnissen. Durch sofortiges Wiegen, nachdem die Zähne aus dem Trockenschrank kommen, können diese Ungenauigkeiten fast ausgeglichen werden. Die vollständige Beseitigung dieser Fehlerquellen könnte ganz sicher durch die Aufbewahrung im Vakuum ausgeschaltet werden.

Nach dem Säurebad wurden die Zahngruppen gewässert. Mit peinlicher Sorgfalt habe ich alle Gefäße auf einen Bogen Papier gestellt, der die genaue Numerierung und sonstige Bemerkungen, betreffs Zeit, Datum etc., enthielt. Diese Maßnahme ist außerordentlich wichtig, und kann nicht genug betont werden, denn eine Verwechslung kann u.U. das Versuchsergebnis einer ganzen Zahngruppe vollkommen falsch darstellen. Diese Fehler zeigten sich bei meinen Vorversuchen und mußten beseitigt werden.

Der Brutschrank aus dem histologischen Labor unserer Klinik, gewährleistet durch automatische Temperaturregulierung, durch einen eingebauten Thermostaten, sehr genaue Ergebnisse. Der Schrank hat innen 2 Fächer, die aus durchlöchernten, verchromten Hartblechplatten bestehen. Die Tür schließt hermetisch ab und von außen kann nun die Temperatur an einer Schraube reguliert werden. Thermometer und Thermostat sind mit 2 Kontrollampen verbunden. Ich konnte also auch nachts diesen Schrank in Betrieb lassen, ein sehr angenehmer Vorteil, auch aus Gründen der Zeitersparnis.

Als nächstes Gerät und besten "Helfer" bei meinen Versuchen muß ich die moderne Analysenwaage kurz beschreiben. Nach dem Säurebad wurden alle Zähne zum 2. Mal mit dieser genauen Waage gewogen, zur Ermittlung der Entkalkungsdifferenz. Anschließend habe ich jeden Zahn

(abgesehen von sehr kleinen Zähnen), eine Minute lang mit einem Tungstenbohrer Größe 6 an der Schmelzfläche angebohrt. Der Druck war konstant 1500 g. An Hand des eingetretenen Gewichtsverlustes konnte ich die Schmelzlöslichkeit im Zusammenhang mit dem Säureangriff veranschaulichen.

Bleiben wir zunächst bei der "hervorragenden" Analysenwaage der Firma Sartorius. Es handelt sich um eine elektrische Schnellwaage, die eine Genauigkeit von $1/10$ Milligramm zuläßt. Der Name Schnellwaage ist ihr deshalb gegeben, weil der Ausschlag der Wagearme durch Magnete oder ein Ölbad gedämpft wird. Dadurch kann eine Wägung sehr schnell durchgeführt werden, während bei den ungedämpften Waagen die Arme auspendeln müssen, was eine sehr lange Zeit beansprucht. Der Grundaufbau ist bei allen Analysenwaagen gleich. Äußerlich tritt folgender Unterschied in Erscheinung: Die Schnellwaage besteht aus einem dem Wäger sichtbaren und einem unsichtbaren (verdeckten) Teil. Der sichtbare Teil setzt sich aus einer Waagschale, einer beleuchteten Milligrammskala, und einer Skala für die Grammzahlen zusammen. Im unsichtbaren Teil sind die Wagebalken untergebracht. Die Gewichte werden durch Drehung der an der Seite der Waage befindlichen Knöpfe automatisch aufgelegt. Von dem großen Wagebalken, an welchem vorn die Waagschale und im rückwärtigen Teil die Gewichtsbalken befestigt sind, geht ein senkrechter Stab mit einer Milligramm-Skaleneinteilung nach unten. Diese Skala wird durch Beleuchtung und Spiegelreflektion auf einer Mattglasscheibe sichtbar, und zeigt dort den mg-Wert an. Die wichtigsten Teile sind also äußerst geschützt untergebracht. Der andere große Vorteil liegt in einem sehr schnellen und äußerst präzisen Arbeiten. Die Höchstbelastung der Waage liegt bei 200 g. Rechts und links befindet sich ein Hebel, mit dem man die Waage arretieren kann. Das hochempfindliche Gerät steht auf einem Spezialtisch, und muß äußerst schonend behandelt werden. Der Raum, in dem sich die Waagschale befindet, muß nach Auflegen der Gegenstände durch 2 Glastüren verschlossen werden, da der geringste Luftzug unerwünschte Gewichtsveränderungen herbeiführt.

2. Das Bohrerprüfgerät: Beschreibung der Versuchsanordnung.

Ich durfte zu meinen Versuchen ein neues, weiter verbessertes Gerät benutzen. Es wurde in gemeinsamer Arbeit zwischen der Universi-

täts-Zahn-, Mund- und Kieferklinik und dem physikalischen Institut konstruiert. Die Angaben zur Konstruktion gaben Professor Herrmann und sein damaliger Mitarbeiter Dr. Bartling. Die Hauptaufgabe dieses Gerätes ist wohl die Erprobung zahnärztlicher Bohrer und Schleifkörper. Vor Jahren wurden mehrere Versuche vorwiegend mit einer Versuchsapparatur der Firma Jota durchgeführt, die nur ein Bohren bei rein senkrechter Belastung ermöglichte. SALZMANN (1932) stellte schon damals fest, daß mit diesem Gerät den Verhältnissen beim Bohren am Zahn des Patienten nicht entsprochen wird. In der Praxis werden sowohl rotierende als auch seitliche Bewegungen ausgeführt, wodurch das Bohrerzentrum verschoben wird. Bei dem modernen Gerät unserer Klinik sind diese Voraussetzungen gegeben. Die Untersuchung der Bohrerleistung bei normaler rotierender Bewegung und seitlicher Verschiebung ist hier durch einen Exzenter gewährleistet. Die Größe des Hubes (der Bohrer beschreibt einen Kreis), kann durch Verstellung des Hubes von 1 - 6 mm reguliert werden. Diese Einrichtung habe ich nicht benutzt.

Im Gegensatz zu anderen Verfahren kann bei diesem Gerät die Probe gegen den im Handstück rotierenden Bohrer gepreßt werden.

Dieser Bohrtisch diente auch meinen Versuchen. Die verschiedenen, teilweise entkalkten Zähne wurden mit 4 Madenschrauben auf dem Bohrtischchen eingespannt. Trotz vorhandener Asymmetrie können die Zähne zur Zufriedenheit befestigt werden. Die großen Molaren von Rindern etc. mußte ich vor den Versuchen etwas zerkleinern. Der Tisch ist in einer Führung leicht verschieblich angebracht, und ich konnte ihn über einen Waagebalken mit einem Gewicht von 1500 g anheben. Dieses blieb konstant für alle Bohrversuche. Der Tungstenbohrer Größe 6 arbeitete also mit einem Druck von 1500 g.

Ich gebrauchte zur Durchführung meiner Versuche Tungsten-Carbid-Rosenbohrer Größe 6. Bei den Vorversuchen haben sich diese Bohrer am besten bewährt. Bei der Auswahl der Hartmetallbohrer stützte ich mich auf die Angaben verschiedener Autoren (HUPFER, GASSMUND, MENTLER u.a.) und auf die Untersuchungen, welche speziell an unserer Klinik durchgeführt wurden. In der MOHSSchen Härteskala hat Wolfram-Carbid die Härte 9, steht also direkt neben dem Diamant, der die Härte 10 besitzt. Dieser Bohrer hat den höchsten, bekannten Elastizitätsmodul aller Metalle und Legierungen, dadurch bleibt er viel länger scharf als ein gewöhnlicher Stahlbohrer. Es heißt, daß die Härte

dieses Bohrers trotz Bohrtemperaturen bis zu 800° C erhalten bleiben soll. Da das Wolfram-Carbid ein relativ sprödes Material ist, mußten die Schneiden an den Bohrerköpfen umkonstruiert werden. Ich überzeugte mich gerade bei meinen Versuchen von der großen Leistungsfähigkeit dieser Bohrer. Es handelt sich bei den verschiedenen Zahngruppen um unterschiedliche Härten. Die Stärke der Schmelzschicht ist bei den meisten Zähnen (vor allen Dingen bei menschlichen Z.), für Bohrversuche etwas unzureichend und an den einzelnen Stellen noch verschieden, was beim Bohren einige Schwierigkeiten bereitete. Allerdings konnte ich auch hier durch meine Vorversuche die Fehlerquelle erheblich verringern.

HUPFER, GASSMUS u.a., die an unserer Klinik derartige Versuche mit Hartmetallbohrern durchgeführt haben, geben als "günstigste Voraussetzungen für den Gebrauch dieser Bohrer Umdrehungszahlen von 5600/Min. bei einer Belastung von 1500 g an. Unter diesen Bedingungen konnten relativ große Bohrausbeuten gewonnen werden. Ich bekam dadurch viel genauere Ergebnisse.

MENTLER (Zahn-Mund- und Kieferklinik Mainz) konnte dieselben Erfahrungen mit Hartmetallbohrern machen. Er berichtet, daß die Einzelbohrung einen ähnlichen Wert nach der ersten Bohrung wie ein Stahlbohrer liefert." Während aber die Leistungskurve des Stahlbohrers rasch abfällt, kann man bei den Kurven der Hartmetallbohrer beobachten, daß sie fast geradlinig verlaufen, und nur in geringem Ausmaße abfallen, was also besagt, daß die Bohrleistung nach 10 Min. fast noch genau so hoch ist, wie zu Beginn der Bohrung." MENTLER gibt die Bohrleistung verschiedener Fabrikate nach 1 Minute Bohren wie folgt an:

1.) Schwedische Hartmetallbohrer	40 mg
2.) Busch " " "	39,4 "
3.) Meisinger " " "	33,3 "
4.) Englische " " "	31,4 "
5.) Amerikanische " " "	30,7 "

Nach diesen praktischen Erfahrungen habe ich jeweils bei einer Zahngruppe einen Hartmetallbohrer Gr. 6, 10 Mal je eine Minute zum Bohren benutzt. Da durch die verschiedene Entkalkung die Härte des Schmelzmantels nachläßt, kann für die bleibende Schärfe der Bohrer garantiert werden. Die Bohrer wurden gezeichnet und jede Bohrung notiert. Die Bohrung wurde unter Kontrolle einer Stoppuhr durchgeführt.

Je nach Stärke der Schmelzschicht mußte der Bohrer bei einer Minute Bohrdauer 1-2 Mal an der Schmelzoberfläche angesetzt werden. Die Zeitmessung läßt sich trotzdem exakt durchführen.

Als Antriebsmotor für den in der Bohrspindel eingespannten Hartmetallbohrer benutzte ich einen 180-Watt-Kurzschlußläufer. Dieser gewährleistet durch die Abhängigkeit seiner Umdrehungszahl von der Frequenz des elektrischen Stromes eine immer konstant bleibende Tourenzahl. Etwaige Abweichungen von der normalen Frequenz dürften sehr selten vorkommen. Deshalb kann man diese Möglichkeit übergehen. Die Tourenzahl von 5600/Min. errechnete ich aus dem der Transmissionsscheibe im Verhältnis zu der Scheibe der Bohrspindel. Eine Variation der Umdrehungsgeschwindigkeiten ist durch mehrere Größen von Transmissionsscheiben möglich. Bei meinen Experimenten wurde nur trocken gebohrt. Der Bohrer konnte sich nach einer Bohrung immer wieder abkühlen.

3. Meine Versuchsergebnisse.

Zunächst noch einige Bemerkungen zu den Versuchsbedingungen. Die Zähne waren alle in Formalin fixiert. Ich habe jede Zahngruppe gesondert untersucht, jeweils mit einer anderen Säure. Die Säurekonzentrationen: HNO_3 5%ig, HCl 5%ig, HCOOH 5%ig und CH_3COOH 5%ig. Als Entkalkungszeiten wählte ich für alle Säuren bis auf die Ameisensäure: 10', 1^o, 4^o, 2 Tg. und 6 Tg. Die Ameisensäure zeigte schon in den Vorversuchen ihre langsame Wirkung. Deshalb habe ich hier folgende Zeiten gewählt: 1 Tg., 5 Tg., 10 Tg., 15 Tg. und 19 Tg. Von den meisten Tiergruppen habe ich die Zähne zur besseren Kontrolle paarweise getestet: Jeweils 2 Zähne derselben Tierart lagen z.B. 1 Std. in einer Säure. Durch genaue Numerierung (wie schon erwähnt), konnten Verwechslungen etc. vermieden werden. Die äußerste Präzision der Versuchsbedingungen ist für derartige Versuche 1. Gebot, da Schwankungen und Fehlerquellen durch die Inhomogenität des Schmelzes naturgemäß zusätzlich auftreten. Die Säuren wurden nach 6 Tagen immer wieder erneuert.

Nach dem Säurebad kamen die Zähne einige Stunden in klares Wasser, dann wurden sie kurz abgetrocknet und gelangten wieder in den Trockenschrank für 24 Std. bei 42^o C. Dann wurden die Gruppen

sofort wieder gewogen. Somit erhielt ich die erste Differenz, die Entkalkungsdifferenz. Die Bohrung folgte diesem Vorgang unmittelbar, die 3. Wägung gab mir die Bohrdifferenz an. Die Summe der Entkalkungsdifferenz und der Bohrausbeute soll die Schmelzlöslichkeit veranschaulichen. Wegen der schon angeführten Gründe handelt es sich nur um vergleichende Mittelwerte.

4. Die Beschreibung der einzelnen Tabellen.

Versuchsergebnisse der Menschenzähne: (Gruppe I)

Die Tabellen 1 und 2 zeigen Menschenzähne der Gruppen I, II, III und IV. Die ersten 2 Zähne jeder Gruppe sind Kontrollzähne, d.h., hier wurde nur getrocknet und gebohrt. Die Zähne stammen von 3 Erwachsenen (30 - 40 Jahre) und von einem Kind mit 7 Jahren: Zahn Nr.8 der Gruppe I, ein Milchmolar. Bei diesen Patienten handelt es sich um kariesanfällige Gebisse. Die kariösen Läsionen wurden sorgfältig gereinigt. Die Spalten 4 - 5 enthalten die Gewichte und Differenzen vor und nach dem Säurebad, sowie nach dem Bohren (s. andere Spalten) immer in mg. - Rubrik Nr.10 zeigt die schon definierte Schmelzlöslichkeit: Als Verlust in % angegeben. Wir sehen bei den Kontrollzähnen der Gruppe I einen Verlust nur durch das Bohren von 1,35 %. Nach einem Säurebad von 10' und der üblichen Bohrdauer steigt dieser Wert auf 10,3 %. Es handelt sich bei diesen Zähnen um kleine Schneidezähne, die besonders schnell angegriffen werden, wie meine graphischen Darstellungen noch später zeigen werden. Nach einer Stunde sind 16,7 % und nach 6 Tagen tritt vollständige Entkalkung des Schmelzmantels mit 58,5 % auch schon rein äußerlich ein. Die Zähne sehen mattgelb aus, sind sehr weich, da nur noch die organischen Bestandteile vorhanden sind. Zahn Nr. 5 [8 zeigt nach einer Stunde einen deutlichen, oberflächlichen Säureangriff durch mehrere Kalkflecken. Die Beschreibung aller Einzelzähne dürfte im Rahmen dieser Arbeit zu weit führen. Zahn 11 und 12 der Gruppe I konnten natürlich zum Bohren nicht mehr herangezogen werden, da hier kein Schmelz mehr vorhanden war. -

Menschenzähne Gruppe II, HCl:

Die Zähne stammen von 4 Patienten männlichen und weiblichen Geschlechts: Alter 14 - 35 Jahre. Zähne Nr.1, 4, 8 und 9 sind aus

prothetischen Gründen extrahiert worden, und zeigen nur wenige kariöse Läsionen. Die übrigen Frontzähne, Prämolaren und Molaren sind etwas mehr kariös. Es fällt wieder der kleine Bohrverlust der Kontrollzähne auf. Die Schwankungen lassen schon die Inhomogenität erkennen. Nach 10' Säurebad konnte ich schon makroskopisch ziemlich große Oberflächeneinwirkungen beobachten. Die graphische Darstellung Nr. 1a und 1b zeigen dann einen rapiden Anstieg: Nach 6 Tagen eine Löslichkeit, die mit 89,5 % weit über dem entsprechenden Wert bei HNO_3 mit 58,8 % liegt. Als Grund hierfür dürfte die Tatsache gelten, daß die HCl die stärkste anorganische Säure ist. Zahn Nr.9 ging leider verloren. Ich darf nochmals auf die Schwierigkeiten der präzisen Registrierung hinweisen. Nach 2 Tagen HCl -Einwirkung war das Bohren durch vollständigen Verlust des Schmelzmantels überflüssig.

Menschenzähne Gruppe III, Ameisensäure:

Wie schon begründet habe ich auch bei den folgenden Tiergruppen die Entkalkungszeiten ändern müssen, um bessere Ergebnisse zu erhalten. Die Zähne sind von 3 Patienten mit unterschiedlich kariesanfälligen Gebissen. 1. Patient, 42 Jahre, Verlust mehrerer Front- und Backenzähne infolge parodontitis marginalis prog., sonst ein relativ kariesresistentes Gebiß. 2. Patient, 35 J. Vernachlässigung der Mundpflege, z.T. stark kariöse Zähne. 3. Patient, 22 J. ♂, verlagertes $\overline{8}$. Gebißzustand: $\overline{6}$ und $\overline{7}$ leichte Fissurenkaries, $\underline{2}$ Silikatfüllung, sonst o.b. Die Tabelle bestätigt die langsame und schonende Entkalkung dieser Säure. Nach einem Tag ist die Löslichkeit mit 1,7 % noch außerordentlich gering. Die Zähne Nr.5 und 6 waren nach einem Säurebad von 5 Tg. noch ziemlich hart. Nach 19 Tg. stieg dieser Wert auf nur 5,2 %.

Menschenzähne Gruppe IV: Essigsäure.

Die stärkste organische Säure ist die Essigsäure. Hier ist die Schmelzlöslichkeit bei den üblichen Zeiten etwa doppelt so hoch wie bei Gruppe III, Ameisensäure. (Zeiten: 10' - 6 Tg.) Auch hier gelangten Zähne verschiedener Altersklassen mit unterschiedlichen Gebißzuständen zur Untersuchung. Nach 6 Tg. ergab sich ein Verlust von 12,9 %, bei der HCl -Gruppe dagegen 89,5 %. Der niedrige Dissoziationsgrad bei organischen Säuren tritt hier sehr deutlich hervor.

(s.Tabelle Nr.2, sowie graphische Darstellungen Nr. 1a, 1b und Nr.6)

Rinderzähne Gruppe I, HNO_3 :

Die folgenden Tabellen und graphischen Darstellungen zeigen in derselben Reihenfolge 4 Gruppen Rinder- und Kälberzähne. Sie stammen von Tieren verschiedenen Alters. Gruppe I: HNO_3 : Bulle, 2 Jahre, ein Tier der Zuchtwertklasse 2; wegen eines Knochenbruches mußte er geschlachtet werden. Zähne Nr.9 und 11, Kälberschaukeln : Alter 6 ♀ Monate. Die Kontrollzähne zeigen auf der Tabelle einen Verlust durch die übliche Bohrausbeute von nur 0,45 %. Es sind sehr große Zähne, die einen verschieden starken Schmelzmantel besitzen. Während nach 10' Säurebad nur 6,2 % Verlust auftreten, steigt der Wert nach einer Stunde fast um das Fünffache, während Menschenschmelz viel widerstandsfähiger ist. Dann nimmt der Löslichkeitsvorgang, wie auch die Abb. 5a und 5b zeigen, einen geradlinigen Anstieg bis auf 60 %.

Die Tabelle Rinderzähne Gruppe II, HCl

zeigt eine Überraschung, die auch bei den Vorversuchen auftrat. Die Zähne stammen von denselben Tieren wie bei Gruppe I. Nach 10' Säurebad nur 4 % Verlust, dann steigt dieser Wert sehr langsam nach 2 Tg. auf 6,25 %, zum Unterschied von 46 % bei HNO_3 . Nach 6 Tg. zeigt sich eine Löslichkeit von 48,6 %. Der Grund hierfür dürfte in der Größe der Zähne liegen. Während Gruppe I aus künstlich halbierten und ganzen Zähnen besteht, verwendete ich zur Kontrolle nur ganze (intakte) Zähne bei Gruppe II. (s.Abb. 5a und 5b) Bei den übrigen Gruppen dieser Tierart habe ich gemischt intakte und halbierte Zähne verwendet. Dadurch läßt sich die verhältnismäßig langsame Einwirkungszeit der organischen Säuren besser ausgleichen.

Gruppe III, Rinderzähne:

Alter der Tiere: Rind ♀ 1 Jahr, Kalb ♂ 5 Mon. (Ameisensäure). Erst nach 12 - 15 Tg. konnte ich rein makroskopisch eine geringfügige Farbveränderung feststellen. Tabelle Nr.4 zeigt nach 6 Tg. eine Löslichkeit von nur 8,35 %. Der Wert liegt um 3 % höher als bei Menschenzähnen derselben Gruppe. Die Wiederkäuer ernähren sich nur von pflanzlicher Nahrung. Diese Tatsache macht sich auch in der Schmelz-

löslichkeit bemerkbar, in der Abrasion und in der Stärke des Schmelzmantels. (s.auch Abb. Nr.8).

Rinderzähne der Gruppe IV

zeigen wieder eine viel größere Löslichkeit. Die Zähne stammen von denselben Tieren der Gruppe III. Bei den Menschenzähnen liegen die Werte zwischen einer Stunde und 4 Std. Entkalkung um etwa 1 % höher; dann steigt dieser Wert auf 20,1 %, doppelt so hoch wie bei Menschenzähnen. Makroskopisch läßt sich der Prozeß nach 2 und 6 Tg. deutlich erkennen. Das Schmelzoberhäutchen war nach einer Woche zerstört. (s.graphische Darst. Nr. 5a und 5b).

Schweinezähne Gruppe I, HNO_3 :

1. (ein) Tier, ♀, Alter 8 Monate, normale Futterbedingungen, sehr viel Weide. Hier habe ich die Versuche meistens mit ganzen Zähnen durchgeführt: Molaren verschiedener Größe, Reißzähne und andere Frontzähne. Vergleichen wir die Ergebnisse mit denen der Menschenzähne, dann fällt auf, daß die Löslichkeit im Anfang niedriger ist, jedoch am Ende nach 6 Tg. bis auf 40,8 % ansteigt und nur um 18 % niedriger ist. Die Zahnflächen sind größer, deshalb braucht der Säureangriff mehr Zeit. Nach 2 Tg. konnte ich deutlich die Entkalkung an einem Reißzahn beobachten. Es handelt sich auch hier um Mittelwerte.

Schweinezähne Gruppe II, HCl :

2 Tiere, ein Eber, 2 Jahre und ein weibliches Tier 7 Monate alt. Schon nach 10' zeigt sich an den Zähnen ein intensiver Oberflächenangriff, der mit 17,34 % rd. 1 % höher als bei Menschenzähnen liegt. Dann halten sich nach einer Stunde und 4 Std. die Werte bei rd. 31 % und 43 %, um dann sehr steil nach 2 und 6 Tagen bis auf 93,3 % anzusteigen. Trotz Zahngröße vermag der Schmelzmantel am Ende nicht denselben Widerstand zu leisten. Die Bohrdifferenz fällt nach 2-6 Tg. wegen vollständiger Entkalkung weg.

Die Zähne der Gruppe III und IV

stammen von den oben beschriebenen Tieren. Auch hier möchte ich wieder Vergleiche mit Menschenzähnen anstellen, obwohl meine graphi-

schen Darstellungen und späteren Erläuterungen auch Unterschiede innerhalb der Tiergruppen voll berücksichtigen. Zähne Nr.4 und 6 sind rudimentär angelegt. Die Löslichkeitswerte liegen jeweils um 2 - 3 % höher als bei Menschenzähnen. (Gruppe III) Nach 6 Tg. zeigte sich bei Schweinezähnen ein Verlust von 8 %. Rein äußerlich läßt sich ein kleiner Farbunterschied erkennen.

Gruppe IV, Essigsäure:

Die Löslichkeit nach 10' beträgt 5,35 % und steigt dann langsam nach 4 Std. auf 8,69 %. Zähne Nr.9 und 10, ein kleiner und ein großer Molar zeigen Werte von 19,4 % bis 30,5 %, gegenüber 5,9 % und 12,9 % bei Menschenzähnen. Abschließend geht aus den Tabellen hervor, daß die Schmelzlöslichkeit bei den organischen Säuren größer als beim Menschen ist. -

Tabellen Nr. 7 und 8

zeigen 4 Gruppen von Pferdeзähnen: 1. Tier ♀ 6 Jahre, 2. Tier ♂ 8 Jahre, 3. Pferd, 2 J., ♀. Zur Untersuchung kamen Frontzähne. Der Schmelz ist für derartige Versuche am besten geeignet. KANTOROWICZ beschreibt die weitgehende Übereinstimmung in der Zusammensetzung von Menschen- und Pferdeschmelz. Allerdings ergibt sich aus meinen Tabellen ein deutlicher Unterschied zwischen der Löslichkeit dieser beiden oben genannten Zahngruppen. Ich glaube, daß es sich wahrscheinlich doch um eine Variation der Zusammensetzung des Pferdeschmelzes handelt. Selbstverständlich möchte ich auch den erheblichen Größenunterschied dieser Zahngruppen anführen.

Pferdezähne Gruppe I, HNO_3 :

Schon bei den Kontrollzähnen fallen die viel geringeren Verluste durch das Bohren auf. Nach 10' ist der Verlust nur 2,9 % - viel niedriger als bei den betreffenden Menschenzähnen: 11,2 % gegenüber 58,5 % bei den Vergleichszähnen. Sieht man von den individuellen Schwankungen der Struktur innerhalb einer Tiergattung ab, so läßt sich trotzdem die große Säureresistenz erkennen. Dieselben Merkmale bestätigen auch die Tabellen der Gruppen II, III und IV. Die Einwirkung der HCl nach 6 Tg. ist fast dreimal so stark wie bei der Salpetersäure. Mit einem Verlust von 30,79 % (6 Tg. HCl-Einwirkung), gegenüber 89,5 % bei Menschenzähnen, zeigen auch durch ein

sehr kräftig ausgebildetes SOH eine sehr starke Säureresistenz. Dieselben Verhältnisse konnte ich auch nach Einwirkung von Ameisensäure und Essigsäure feststellen. (s. Tb.7 und 8, sowie graphische Darstellung Nr. 3a, 3b und Nr.6)

Tabellen Nr.9 und 10

geben die Schmelzlöslichkeit bei 4 Gruppen von Fuchszähnen an. Die Beschaffung des Zahnmaterials war sehr schwierig, so daß ich die Gruppenstärke reduzieren mußte. Die Zähne stammen von 2 älteren und 2 jüngeren Tieren. Es kamen zum Teil auch frakturierte Zähne zur Untersuchung. Die verhältnismäßig sehr kleinen Zähne werden von allen Säuren schnell angegriffen. Nach 10' zeigt die Tabelle einen Höchstwert von 30,3 % (n.HNO₃) an. Allerdings haben frakturierte Zähne vergrößerte Oberflächen. Der Verlust steigt dann nach 1 Std. geradlinig an und liegt etwa dreimal höher als bei Menschenzähnen. Nach 6 Tg. ist der Verlust 86,5 %: Man kann nur noch eine "Hülle" erkennen. Deshalb konnte bei allen Gruppen nicht gebohrt werden. Das Salzsäurebad zeigt nach 10' ebenfalls den höchsten Wert von 43 % gegenüber 16,67 % an. Es wurden verschiedene Molaren und Reißzähne untersucht. Die Werte steigen dann bis auf 84 % (n. 6 Tg.) an, und man kann sagen, daß sie nach dieser Einwirkungszeit fast mit den entsprechenden Werten bei Menschenzähnen verglichen werden können. Der weniger als 0,5 mm starke Schmelz muß ebenfalls berücksichtigt werden. In der Gruppe III liegen die Werte auch viel höher. Nach 19 Tg. ergibt sich eine Löslichkeit von 7,5 %, zum Unterschied von den üblichen Vergleichszähnen mit 5,2 %. Rein äußerlich lassen sich hervorstechende Unterschiede nur bei den Gruppen I und II feststellen. Gruppe IV ergibt Werte, die nach 10' bis 4⁰ niedriger liegen. Diese Zähne sind sehr gut mineralisiert. Nach 2 Tg. steigt das Löslichkeitsprodukt um das Fünffache, sofort auf 33 % an; nach 6 Tg. konnte ich einen Wert von 36,8 % ermitteln. Vergleichszähne: 12,9 %. Diese Ergebnisse werden noch besonders in meinen graphischen Darstellungen Nr. 2a und 2b veranschaulicht.

Die Rattenzähne zeigen ebenfalls interessante Ergebnisse. Sie stammen ausschließlich von ausgewachsenen Albinoratten. Die Säuren dringen sehr schnell in die nur wenige μ starke Schmelzschicht ein. Die Löslichkeit ist deshalb viel größer als z.B. bei Menschenzähnen. In der Gruppe I steigen die Werte von 18,5 % bis

auf 85,8 % gegenüber 58,5 % bei den Vergleichszähnen. Die HCl wirkt nach 10' und nach 1^o bedeutend stärker, später ist der Gipfelpunkt von 89 % gleich. - Ist die Ameisensäure auch bei diesen Zähnen das schonende Agens, so zeigt Tb. Nr.12 doch wesentlich höhere Werte, ja die höchsten Werte von allen anderen Zahngruppen. Nach einem Tag sind es schon 15,5 % Verlust und nach 19 Tg. rd. 36 %. Makroskopisch zeigen sich hier auch bei Gruppe III Veränderungen in der Farbe. Die Essigsäure verursacht viel höhere Werte. Nach 6 Tagen stehen 50,0 % Löslichkeit nur 12,9 % bei Menschenzähnen gegenüber. Die Bohrungen mußten natürlich unterbleiben.

Die grau-braun-schwarz getüpfelten Rehzähne sind zum Teil groß, so daß die Bohrversuche wieder durchgeführt werden konnten. Die Beschaffung des Zahnmaterials war wieder außerordentlich schwierig. Durch die freundliche Bereitwilligkeit mehrerer Forstverwaltungen im Bezirk Hohenlohe, gelang es mir, besonders gutes Zahnmaterial zu erhalten. Die Zähne der folgenden 4 Gruppen stammen von 3 Tieren: 1. Reh ♂, etwa 4-5 Jahre, 2. Reh ♀, etwa 2-3 J., 3. Tier ♂, 5-6 Jahre alt. Im Vergleich zu den Rinderzähnen und Menschenzähnen zeigen die Tabellen Nr.13 und 14 bei den Gruppen I und II zunächst deutlich höhere Werte. Trotzdem es sich auch um Pflanzenfresser handelt, hat doch die Größe und Stärke des Schmelzmantels einen beachtlichen Einfluß auf die Löslichkeit. Gruppe I zeigt Werte, die nach 10' von 19,2 % bis zu 75,5 % nach 6 Tagen steil ansteigen. In der Gruppe II sind die Werte nach 1^o und 4^o erheblich niedriger als bei den Vergleichszähnen; dann steigen sie nach 6 Tg. bis auf 86,4 % an. Hier macht sich die unterschiedliche Homogenität des Schmelzes innerhalb derselben Tierart bemerkbar. In den Tabellen finden sich also Mittelwerte. Ein kurzer Vergleich der Gruppe III mit Rinderzähnen läßt erkennen, daß die Löslichkeit vor allen Dingen im Anfang größer ist. Nach 19 Tg. nähern sich erst die Werte und bewegen sich bei beiden Tierarten zwischen 7,5 % und 8,35%. Es läßt sich also doch ein Vergleich zwischen diesen Wiederkäuer-Ge-bissen anstellen. Die Essigsäure übt einen weitaus stärkeren Angriff auf die Rehzähne aus. Nach 1^o ist der Verlust bereits 8,9 %, und er steigt dann nach 6 Tg. bis auf 47,1 % an. (s.Tb. Nr.4)

Ganz ähnliche Ergebnisse müßten die folgenden 4 Gruppen der Schafzähne ergeben, aber auch hier bleiben größere Schwankungen nicht aus. Das Tier ist ein Produkt seiner Scholle, und so finden

wir bei Schafen wieder etwas andere Verkalkungsgrade an den Zähnen. Auch dieses Tier ist, wenigstens in unseren Breiten, von der Wildbahn verschwunden. Die untersuchten Zähne wurden von 3 geschlachteten Schafen extrahiert. Alter der beiden Tiere: 2 Böcke, 2-4 Jahre alt. Vergleichen wir die Ergebnisse mit denen der letzten Gruppen, dann zeigt sich in der Tabelle Nr.15, daß die Schmelzlöslichkeit nach 10' um ~10% niedriger ist, dann aber steil ansteigt, und nach 6 Tg. mit 92 % viel höher liegt. In der Gruppe II finden sich auch Höchstwerte nach 6 Tg. bis zu 94,6 %. Den intensiven Prozeß kann man schon makroskopisch erkennen. Die Wirkung der Ameisensäure ist ebenfalls sehr gering, sie liegt unter der Säurewirkung an Rehzähnen. Auch die Essigsäure greift Schafzähne weniger an. Nach 6 Tg. ist die Löslichkeit rd. 18 % gegenüber 47,1 % bei Rehzähnen. Wegen der Schnelligkeit des Prozesses mußte das Bohren manchmal unterbleiben.

5. Diskussion der graphischen Darstellungen.

Die Tafeln Nr. 12a-12g veranschaulichen die Bohrausbeuten. Die temporär verschiedenen Säureeinwirkungen ergaben auch unterschiedliche Ausbeuten. Auch hier handelt es sich um Mittelwerte. Tb. 12a und 12b zeigen die Bohrausbeuten aller Menschen- und Tierzahngruppen, jeweils nach 10' bis 4⁰ und nach 2-6 Tg. Säurebad in HNO_3 . Man sieht auch an den gestrichelten Linien die verschieden hohen Ausbeuten bei Kontrollzähnen. Bei Rehzähnen ist dieser Wert sehr klein: Es sind verhältnismäßig kleine aber gut mineralisierte Zähne. In der Mitte bewegen sich die Menschenzähne, während Pferde- und Schweinezähne nach 10' bis 4 Std. Gipfelpunkte in der Ausbeute erreichen. Die Löslichkeit dieser beiden Gruppen ist im Anfang sehr stürmisch. Nach 2-6 Tg. zeigt Tafel 12b dieselben Zähne: Pferdezähne erreichen nach 6 Tg. den Gipfel der Bohrausbeute, während Menschen- und Rinderzähne nach 2-3 Tg. eine Löslichkeit zeigen, welche das Bohren erübrigt. Die Ausbeute bei Schweinezähnen steigt langsam bis zum 6. Tag an.

Die Tb. 12c und 12d zeigen dieselben Darstellungen nach HCl -Einwirkung: Außer kleinen Schwankungen bei den Bohrausbeuten der Kontrollzähne verschieben sich die Gipfelpunkte der anderen Werte. Gerade I und II (Mensch und Rind) steigen teilweise zusammen an. Die 2. Gerade bleibt jedoch nach 4⁰ Säurebad auf etwa 32 mg stehen. Wahr-

scheinlich geht diese Entkalkung besonders stufenförmig vor sich. Zum Unterschied von der HNO_3 -Einwirkung liegen nach 10' - 4⁰ die Ausbeuten bei Schweine- und Pferdezähnen viel niedriger. Tafel Nr. 12d: Nach 2 - 6 Tg. Die Ausbeuten (Bohrausbeuten), entfallen wegen vollständiger Entkalkung bei Schweinezähnen, nach 2 Tg. auch bei Reh-, Menschen- und Schafzähnen. Die Säureresistenz bei Pferde- und Rinderzähnen ergibt nach 6 Tg. noch die höchsten Bohrausbeuten. Die Rillen und Schmelzfalten an diesen Zähnen stellen mit dem widerstandsfähigen SOH einen guten Säureschutz dar.

Graphische Darstellung Nr.12e: Bohrausbeuten aller Zahngruppen nach dem Säurebad in Ameisensäure.

Zeiten: 1 - 19 Tg. Schweine- und Schafzähne haben die kleinsten Bohrausbeuten: Hier ist die Oberfläche sehr klein und das Bohren dadurch erschwert. Sonst sieht man an den Hoch- und Tiefpunkten der verschiedenen Geraden unterschiedliche Schwankungen. Die Intensität wechselt oft, und nach 10,15 und 20 Tg. sehen wir einen besonders hohen Anstieg der Geraden I, vor II, III etc.

Darstellungen Nr.12g und 12f: Bohrausbeuten aller Zahngruppen nach Einwirkung von CH_3COOH .

Die Werte liegen im Durchschnitt viel höher als bei Ameisensäure. Gerade III erreicht vor G.I (Menschenzähne) mit einer Ausbeute von 42 mg nach 4 Std. den höchsten Punkt. Pferdezähne bewegen sich in der Mitte, während die Ausbeuten bei Schweine- und Rehzähnen nach 4⁰ am niedrigsten sind. Nach 2 Tg. steigt der Wert bei Pferde- zähnen weiterhin leicht an, während die Gerade der Rinderzähne etwas fällt. Derartige Schwankungen ergeben sich oft bei org.Säuren. Gerade I fällt ebenfalls ganz leicht ab, auch die Ausbeute bei Schafzähnen, während die Gerade bei Schweinezähnen leicht ansteigt. Derartige Schwankungen konnte ich bei den anorganischen Säuren kaum beobachten.

Schmelzlöslichkeit bei Molaren und Schaufeln: Geraden der Kurvenbilder Nr. 10a und 10b.

Die Gerade I^S (= Schaufeln i. HNO_3), erreicht weit über G.II^S (Schaufeln i. HCl) den Gipfel von 60 % Löslichkeit nach 4 Std. Säurebad. Noch höher liegen die Werte bei Rindermolaren in HNO_3 am An-

fang--. Ferner kann man wieder die geringere Wirkung der Essigsäure erkennen. (s.Tb. 10b)

Die Abhängigkeit der Schmelzlöslichkeit von der Zahngröße und Stärke des Schmelzmantels,

zeigen die Bilder Nr. 11a-11d. Ich habe der Zahngröße nach einige Gruppen zum Vergleich herangezogen. Tb. Nr.11a-11d. Es sind mehrere Vergleichsgruppen. 11a zeigt den Gipfelpunkt der Löslichkeit nach HNO_3 -Einwirkung bei den kleinsten Zähnen, nämlich den Rattenzähnen; Menschenzähne bewegen sich in der Mitte. Pferdezähne liegen am niedrigsten. Darstellung Nr.11b: Dieselben Gruppen nach HCl -Einwirkung: Rattenzähne zeigen wieder den höchsten Punkt an, etwa in der Mitte liegen die Schweinezähne. Die Schmelzlöslichkeit bei Pferde- zähnen liegt etwas höher als bei Menschenzähnen; der Grund hierfür liegt in der Ähnlichkeit der Schmelzzusammensetzung. Bild Nr.11d zeigt die Geraden nach CH_3COOH -Einwirkung. Die Werte liegen bei organischen Säuren bedeutend niedriger, und innerhalb der Zahngrößen erkennen wir die außerordentlich hohe Löslichkeit bei Schweine- und Rattenzähnen. Die Gerade bei Rattenzähnen hat bei organischen Säuren den geringeren Anstieg. Die Geraden der Pferde- und Menschenzähne kommen sich am nächsten. Darstellung Nr.11c veranschaulicht die Geraden nach Einwirkung von Ameisensäure. Rattenzähne zeigen durch ihre äußerst dünne Schmelzschicht eine höhere Löslichkeit. Die Geraden Nr. I und II nähern sich bis zum 10. Tg. der Säureeinwirkung, dann steigt die Gerade Nr. I etwas an.

IV.

ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend komme ich auf Grund meiner Experimente zu folgendem Ergebnis:

Es wurden rd. 290 Zähne auf ihre Schmelzlöslichkeit untersucht. Das Versuchsmaterial bestand aus Menschenzähnen und Zähnen von 7 verschiedenen Tiergattungen. Veröffentlichungen amerikanischer Autoren zeigen derartige Versuche mit gepulvertem Schmelz. In dieser Arbeit wurden Schmelzlöslichkeitsversuche erstmalig an intakten Zähnen verschiedener Tiergattungen ausgeführt.

Das Zahnmaterial wurde sorgfältig gereinigt. Gruppenweise registriert gelangten die Zähne in den Trockenschrank, da sie vorher in Formalinlösung lagen. Von den Zähnen der verschiedenen Tiergattungen, sowie von den Menschenzähnen wurden jeweils 4 Gruppen gebildet: Gruppenstärke 6 - 12 Zähne.

Mit den folgenden Säuren wurden die Versuche durchgeführt:

1.) Salpetersäure 5 %ig, Salzsäure 5 %ig, Essigsäure 5 %ig und Ameisensäure 5 %ig. Die Dauer des Säurebades wurde wie folgt festgelegt: Für HNO_3 , HCl und CH_3COOH : 10', 1⁰, 4⁰, 2 Tage und 6 Tage, jeweils 1 - 2 Zähne lagen z.B. 10', die folgenden Zähne derselben Gruppe 1⁰ etc. in einer der angegebenen Säuren. Die Ameisensäure entkalkt besonders langsam, daher mußten folgende Zeiten festgelegt werden: 1 Tg., 5 Tg., 10 Tg., 15 Tg. und 19 Tg.

Zur besseren Kontrolle habe ich die Zähne meistens paarweise getestet. Nach dem Säurebad kamen die Zahngruppen zum 2. Mal in den Trockenschrank. (Temperatur beim ersten und 2. Mal 42⁰ C, Dauer = 48 Std.)

Folgende Wägungen waren notwendig: 1. Wägung: Nach der Reinigung des Zahnmaterials vor der ersten Trocknung. 2. Wägung: Die Zähne mußten nach dem Säurebad nochmals getrocknet und gewogen werden. Nach einer Bohrdauer von einer Minute pro Zahn mußte zum 3. Male gewogen werden.

Insgesamt (mit Vorversuchen) habe ich rd. 1000 Wägungen, sowie rd. 300 Bohrungen durchgeführt.

Die Schmelzlöslichkeit, der Verlust an Schmelzsubstanz, wurde, wie aus meinen Tabellen ersichtlich ist, prozentual ermittelt. Die Tabellen zeigen folgende Ergebnisse:

Ausgangswert ist das Normalgewicht jedes Einzelzahnes (1. Wägung) Die erste Gewichts-differenz ergab sich nach dem Säurebad = 1. Differenz.

Die 2. Gewichts-differenz ergab sich nach dem Bohren-Bohrausbeute. Aus der Gesamtdifferenz errechnete ich dann am Schluß die Mittelwerte. (Schmelzlöslichkeit in %)

Die Schwierigkeiten, welche sich aus den verschiedenartigen Zusammensetzungen der Tierzahngruppen ergeben, konnten durch zahlreiche Vorversuche erfolgreich beseitigt werden.

Nach Betrachtung aller Ergebnisse bin ich zu folgendem Schluß gekommen:

1.) Es konnte wieder bestätigt werden, daß die Schmelzzusammensetzung bei einer Tiergruppe, bzw. innerhalb eines Gebisses Schwankungen ausgesetzt ist.

2.) Die Schmelzlöslichkeit gegenüber anorganischen Säuren ist bedeutend größer. Am schonendsten entkalken organische Säuren, bei meinen Experimenten die Ameisensäure.

3.) Der Angriff der Salzsäure ist bei allen Zahngruppen nach 10' bis 4⁰ niedriger als bei HNO_3 , steigt aber nach 2 Tg. steil an, und führt in den meisten Fällen viel kurzfristiger zu einer vollständigen Entkalkung. (Angriff der Salzsäure-Schmelzlöslichkeit) Die anorganischen Säuren greifen die gesamte Zahnhartsubstanz mehr oder weniger stark an.

4.) Die Schmelzlöslichkeit, ganz besonders bei Tierzähnen, ist abhängig von der Zahngröße, der Stärke des Schmelzmantels und der Zusammensetzung des Schmelzes. Pferde-zähne zeigen eine verhältnismäßig große Säureresistenz: KANTOROWICZ berichtet von einer weitgehenden Übereinstimmung in der Zusammensetzung von Menschen- und Pferdeschmelz. Allerdings ergibt sich aus meinen Tabellen ein deutlicher Unterschied zwischen der Löslichkeit dieser beiden Zahngruppen. Wahrscheinlich sind die Zusammensetzungen dieser beiden Schmelzarten doch verschieden. Dann folgen nach dem Ausmaß der Säureresistenz: Menschen-zähne, Rinder-zähne, Reh-, Schweine-, Schaf- und Ratten-zähne.

Etwa am Schluß stehen die Fuchszähne.

5.) Kariöse Zähne bieten den Säuren günstigere Angriffsflächen, da das Schmelzoberhäutchen an diesen Stellen bereits durchbrochen ist. Jugendlicher Schmelz wird ebenfalls schneller angegriffen.

6.) Die günstigsten Bohrausbeuten konnte ich mit Tungsten-Carbid-Bohrern der Größe 6 bei 5600/U. p.Min. und 1500 g Belastung bekommen. Die Versuche wurden mit dem modernen Bohrerprüfgerät der Zahn-, Mund- und Kieferklinik durchgeführt.

7.) Die Bohrausbeute hängt von dem Grad der Entkalkung, der Zahngröße und der Größe, sowie Beschaffenheit der Bohrer in erster Linie ab. Wölbungen der Zahnkronen, Schmelzfalten etc. haben ebenfalls einen Einfluß auf die Bohrausbeute.

Tabellen und graphische Darstellungen zeigen die unterschiedliche Schmelzlöslichkeit bei mehreren Tiergruppen.

LITERATUR - VERZEICHNIS

Abkürzungen: Definition

JADA.: Journal of the American Dental Association
SMFZ : Schweizerische Monatszeitschrift für Zahnheilkunde
DZW : Deutsche zahnärztliche Zeitschrift (Wochenzeitschrift)
DZMK : Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DZZ : Deutsche zahnärztliche Zeitschrift
JOAR : Journal of the American Dental Research.

ADDISON, W. and APPLETON, J.: The Structure and growth of the incisor teeth of the albino rat. J.Morph. 1925.

ANDRESEN, V.: Dtsche Monatszeitschrift f.Zahnheilkunde: Heft 8, 1902.

BERETTA: zit.n. Leimgruber: Schweizerische Monatszeitschrift f. Zahnheilk. 67b.

BERETTA, HOPPE u. SEILER: zit. nach Wolf u.Neuwirt, SMFZ 103, S.226.

BOEDECKER, Ch., F.: Enamel lamellae.J.American Dent.Associat. V, Nr.10, S.1885 (1928).

BOEDECKER, Ch., F.: Zeitschrift f.wissenschaftliche Mikroskopie 1905 Anatomischer Anzeiger 34, S.310, 1909.

APPLEBAUM: zit.n. Wolf u.Neuwirt, British Dental Journal 47, S.443, 1926.

BINDER: In vitro- Untersuchungen über den Wirkungsmechanismus der Speichelpartikelanlagerung im Schmelz. Inaug.Diss. Mainz 1953.

BIRKENHAUER: Über ein Verfahren zur elektrischen Schnellentkalkung. Zahnärztl.Welt, Nr.15, S.432 - 436 Inaug.Diss. Kiel.

- BÜTTNER, W.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Frage der Ernährung und Zahnkaries: Die quantitative Mineralanalyse und die Anwendung von radioaktivem Phosphor, Inaug.Diss., S.61 ff., Mainz 1953.
- CSERNYEI: DZMK, Bd.14, H. 1 + 2, 1951:
- DILLON, CHARLES: The Chemistry of Fluorides and its application to dental practice: SMFZ, Referate und Besprechungen; 1951, S.771 ff.
- DIETRICH-MÜLLER, P.: Leitfaden der Chemie, Mundus Verlag Stuttgart S.72,73 ff.
- ERBACHER und WANNEMACHER: DZMK, H.8, S.201, 1941
- EHRENSBERGER: Schweizerische Monatszeitschrift für Zahnheilkunde, H.40, S.113-159, 1929.
- ELLENBERGER -BAUM: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. Berlin, Springer Verlag 18.Auflage, S.368, 1943.
- ELLENBERGER -BAUM: dito: S.361-374; über die Wiederkäuerzähne, S.383 ff.
- ELLENBERGER -BAUM: Über das Fleischfressergebiß: S.390, 391, 392 ff, Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere (s.oben).
- EULER, H.: Zum heutigen Stand der Kariesforschung: Dtsch. zahnärztliche Wschr. XXX, Nr.1, S.5 1927.
- FORSCHNER: Zit.nach J.Tomes, v.Köl liker u. v.Ebner: Inaug.Diss. Mainz 1952.
- FORSCHNER: Die organische Struktur des Schmelzes beim Rattenzahn; (s.o.).
- GRUNER, MC CONNEL und ARMSTRONG: Zit. nach Klement: SMFZ, 57, S.763.
- HEAD: Über die Beeinflussung der Schmelzstruktur Band 52, Dental Kosmos, 1910.
- HELLEIN: Zucker und Karies. Inaug.Diss. Mainz 1953.
- HELMKE: Zit.n.Herrmann: Vortrag vor dem Österreichischen Zahnärzteverein am 20. 3. 58.

- HILZHEIMER und AGDUR: Zit.v.Ellenberger-Baum, Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere: S.390 ff. Springer Verlag Berlin 18.Auflage.
- HEUSER, H. und WOLF,MAY: Das Initialstadium der Karies vom oberflächen-hist. Standpunkt aus gesehen; DZZ 1952 II S.1187 - 1190 ff.
- HUPFER, M.: Vergleichende Untersuchungen zwischen Diamantschleifkörpern, Hartmetall- u.Stahlbohrern. Diss. Mainz, 1953, S.23 ff.
- JEANNERET: Über den heutigen Stand der Fluor-prophylaxe: (der Zahnkaries); SMFZ, Bd.61, S.257 - 272, März 1951.
- KANTOROWICZ: Sanger zit. nach Kantorowicz, Experimentelle Untersuchungen über die Streuung der Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper; Inaug.Diss. Mainz 1955.
- KNAPPWOST: DZZ, H.8, S.553, 1949.
- KRIEGER, W.: Eine neue Entkalkungsmethode des Schmelzes, speziell von menschlichen Zähnen; Inaug.Diss. Mainz 1953.
- LEICESTER, H.M.: Biochemistry of the teeth: C.V.Mosby Comp. 1949.
- LAMMERS, Th.: Bakteriologische Untersuchungen zur Ätiologie der Zahnkaries. Dtsch.Med. Rdsch., H.8, 1950.
- MATSUMIYA, S., TAKUMA, S. und TSCHUCHIKURA, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über Karies und Kariesprophylaxe, DZZ, 9.Jhrg. 1954, S.758, 759.
- MENTLER, E.: Vergleichende Untersuchungen über die unterschiedliche Wirksamkeit zahn-ärztl.Bohrer verschiedener Fabrikate. Inaug.Diss. Mainz 1955.
- MEYER: Entwicklung der Zähne. Port-Euler, Lehrbuch der Zahnheilkunde, S.105 ff.
- MUHLER, J.C. und Van HUYSEN, G.: Sodium Fluoride Reagent Concentration and powdered Enamel Solubility: JOADR, Volume 27, S.142 - 148, 1947.
- NUCKOLIS, FRISBIE und SAUNDERS: SMFZ H.56, S.584 - 614, 1946.

- NARAY, St.: Szabo Ztschr. für Krist.: 75, S.387, 1930.
- NEUWIRT und WOLF: DZMK, H.8, S.222, 228, 349 - 382, 1941.
- NUCKOLIS, J., SAUNDERS, C.M.,
FRISBIE, H.E.: Amelogenesis: A further study of the development of tomes Process and the enamel rod matrix in the molar and incisor teeth of the rat.J.Am.College Dent. Research 1943, S.214 - 268.
- PEDERSEN, SCHMIDT und
NIELSEN, S.: SMFZ, H.51, S.647 - 669, 1941.
- PHILLIP, R.: Über Fluorversuche, J.Am.Dent.Ass., H.1 1948; S.513, 1950.
- PHILLIPS, R.,
SWARTZ, M.: Additional Studies on the Effect of Fluorides on the Hardness of enamel, J.of the Am.Dent.Ass., H.40, S.513, 1950.
- PICKERILL, H.P.: The Prevention of Dental Caries and oral Sepsis; New York, 1924: Paul B. Hoeber Inc., page 113.
- RAE, J.J.,
CLEGG, C.T.: The Effect of various inorganic salts on the solubility of calcium phosphate, tooth enamel, and whole teeth in lactic acid: J.A.Dent.Res.24: Page 235, 1945.
- ROMEIS: Mikroskopische Technik. Angaben n. Richmond, Gelfand u. Hill, 1947.
- SALZMANN: Wir bohren falsch! Zahnärztliche Rundschau, Heft 10, 1932.
- SCHLEGEL, H.: Experimentelle Studien über die Herabsetzung der Löslichkeit d.Schmelzes durch lokale Fluorierung: Zahnärztliche Praxis 2 S.11, 1951 u. SMFZ,: Referate u.Buchbesprechungen, S.771 ff. Jhrg.1951.
- SCHMITZ: DZW, H.31: S.3 - 25, 1928.
- SCOTT und WYKOFF: Zit.n.Leicester: JADA 26, S.598, 1939.
- SCHMIDT, H.J.: Sammelreferat aus d.angloam.Schrifttum: Über örtliche Fluorwirkung, DZZ, 1954, Teil II S.1368.
- SCHMITZ, E.: Aus Kranz: Klinische Zahnheilkunde u. ihre Grenzgebiete; München, 1949, S.172.

- SMREKER, E.: Über Injektion des Schmelzes durch die Zahnbeinkanälchen: Ztschr.Stom. XXIV, Nr.5, S.460, 1926.
- THIEL, K.: Experimentelle Untersuchungen über die Abhängigkeit der Leistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper von Umdrehungsgeschwindigkeit und Druck: Inaug. Diss.Mainz 1955.
- TOMES, J.: On the Structure of the dental tissues of the order rodentia: Philos. transac. Part II, S.529, 1850.
- TÜRKHEIM: a.) Vierteljahresztschr.f.Z.38: 846 - 499, 1922
b.) Mikroskopische Fachzeitschrift, H.2, S.333, 1926.
- V.EBNER: Über die Kittsubstanz d.Schmelzprismen, Deutsche Monatszeitschrift f. Zahnheilkunde 21.Jhrg., 1903.
- WALKHOFF: Zit.n.Waldeyer: Beiträge zum feineren Bau des Schmelzes und zur Entwicklung d.Zahnbeins. Dtsch.Mschr. f.Zahnh. 1898, Beiträge zur Lehre v.d.Struktur d.Schmelzes, ebenda, 1903.
- WEBER: Stomatologenztzshr.27: H.10, 1929.
- WOLF, NEUWIRT, RHEINWALD und STAEHLE: DZMK, H.8, S.222 - 228; Stoma., H.4, S.259 - 298.
- YARDENI: JADA: 35: S.498 - 502, 1947.
- FINN und BRUDEVULD: A Study of the Phosphate Solubility of the Human Enamel Surface, JOADR, Nr.3, Vol.27, S.320 - 329.

Menschenzähne Gruppe I - HNO_3 5 %

Nr. Zahn	t	Gewicht n. Säure- bad mg.	1. Diff.	Gewicht n. Boh- ren	Bohr- aus- beute	Gesamt- diff.	Normal- gew. mg.	Verlust in %	Bemerkungen
1 8	Kontrolle		--	1146	20	20	1166	1,7	(Mittelwerte) 1,35%
2 4	Kontrolle		--	2057	20	20	2077	1,0	
3 1	10'	735	68	717	18	86	803	9,4	10,3%
4a 2	10'	427	41	416	11	52	468	10,5	
4b 1		485	46	470	15	61	531	11,5	
5 8	1°	1628	319	1599	29	348	1947	17,5	16,7%
6 3	1°	1069	221	1054	15	236	1290	15,8	
7 6	4°	1271	404	1243	28	432	1675	25,75	26,9%
8 V	4°	717	262	700	17	279	984	28,0	
9 3	2Tg.	562	525	534	28	553	1087	50,8	34,4%
10 6	2Tg.	4121	911	4092	29	940	5032	18,0	
11 2	6Tg.	441	594 ₊	--	--	594	1035	57,8	58,8% + 11 u. 12: es wurde nicht gebohrt
12 4	6Tg.	336	500 ₊	--	--	500	836	59,8	

Menschenzähne Gruppe II - HCL 5 %

1	6	Kontrolle	--	2656	25	25	2681	0,95	0,73%	
2	7	Kontrolle	--	2834	16	16	2850	0,52		
3	1	10'	722	121	689	33	154	843	18,2	16,67%
4	2	10'	682	104	661	21	125	786	15,14	
5	6	1°	1273	901	1188	85	986	2174	40,7	40,6%
6	3	1°	527	321	503	24	345	848	40,5	
7	5	4°	337	842	324	13	855	1179	72,6	79,8% + wurde nicht gebohrt
8	1	4°	83	403	83	-- ₊	403	486	87,0	
9	-	2Tg.	--	--	--	--	--	--	--	Zahn fehlt
10	2	2Tg.	54,4	439,6	54,4	-- ₊	439,6	494	89,0	89,0 %
11	3	6Tg.	607	1146	-- ₊	-- ₊	1146,3	1207	90,1	89,5%
12	1	6Tg.	97	787	97	-- ₊	787	884	89,0	

Rinderzähne Gruppe I - HNO₃ 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n.dem Säurebad mg	1.Diff. mg.	Gew.n.dem Bohren mg.	Bohr- ausbeute	Gesamt- diff.mg.	Normal gew.mg.	Verlust in %
1	S	-	Kontrollzahn	-	3931	28	28	3959	0,7
2	S	-	Kontrollzahn	-	8641	25	25	8666	0,2
3	M	10'	15534	823	15512	22	845	16357	5,0
4	S	10'	5532	373	5477	55	428	5905	7,4
5	M	1 ⁰	12314	3732	12297	17	3749	16046	43,0
6	M	1 ⁰	8334	1255	8315	19	1274	9589	13,0
7	M	4	8095	5790	8090	5	5795	13885	40,5
8	M	4	9319	2128	9296	23	2151	11447	45,0
9	S	2Tg.	1311	1154	1282	29	1183	2465	48,0
10	S	2Tg.	2348,5	1791,5	2317,5	31	1822,5	4142	44,0
11	S	6Tg.	1377	4586	-- +	--	4586	5963	76,9
12	M	6Tg.	6436	4879	-- +	--	4879	11315	43,1

Rinderzähne Gruppe II - HCL 5 %

1	M	Kontrollzahn	--	31257	30	30	31287	0,1	0,15%
2	M	Kontrollzahn	--	15035	27	27	15062	0,2	
3	M	10'	35165	1567	35120	45	1612	36732	4,5
4	S	10'	4214	98	4162	52	150	4313	3,5
5	S	1 ⁰	3475	171	3450	25	196	3646	5,3
6	M	1 ⁰	24275	640	24153	122	762	24915	3,2
7	M	4 ⁰	24387	1801	24333	54	1855	26188	7,0
8	M	4 ⁰	21421	1210	21348	73	1283	22631	5,5
9	M	2Tg.	22557	2790	22481	76	2866	25347	11,0
10	M	2Tg.	15514	145	15365	149	294	15659	1,8
11	M	6Tg.	5095	1612	4475	620	2232	6707	33,0
12	M	6Tg.	10641	16301	9601	1040	17341	26942	64,2

Rinderzähne Gruppe III - HCOOH 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n.dem Säurebad mg.	1.Diff. mg.	Gew.n.dem Bohren mg.	Bohraus- beute	Gesamt- diff. mg.	Normal- gew.mg.	Verlust in %
1	M	/Kontrollzahn		-	19491	36	36	19527	0,10
2	M	-Kontrollzahn		-	14581	32	32	14613	0,20
3	M	1Tg.	17200	219	17130	70	289	17419	1,0
4	S	1Tg.	2429	38	2413	16	54	2467	2,2
5	M	5Tg.	9009	244	8985	24	268	9253	2,8
6	S	5Tg.	3555	49	3520	35	84	3604	2,3
7	M	10Tg.	8817	212	8775	42	254	9030	2,8
8	S	10Tg.	3636	69	3598	38	107	3705	2,9
9	M	15Tg.	9126	250	9086	40	290	9376	3,1
10	S	15Tg.	668	39	619	49	88	707	12,6
11	M	19Tg.	8400	600	8325	75	675	9001	7,5
12	S	19Tg.	835	40	795	40	80	876	9,2

Rinderzähne Gruppe IV - CH₃COOH

1	M	- Kontrollzahn	-	6410	42	42	6452	0,6	1,7%
2	S	- Kontrollzahn	-	462	14	14	476	2,98	2,98
3	S	10'	3892	66	3877	15	81	3958	2,1
4	M	10'	8565	168	8545	20	188	8733	2,1
5	S	1°	862	18	845	17	35	881	4,0
6	M	1°	7117	262	7105	12	274	7379	3,7
7	S	4°	2569	53	2553	16	69	2622	2,6
8	M	4°	10288	552	10223	65	617	10841	5,7
9	M	2 Tg.	5391	421	5365	26	447	5812	7,52
10	M	2 Tg.	7857	1107	7785	72	11079	8964	13,12
11	M	6 Tg.	8538	705	8485	53	758	9243	8,2
12	S	6 Tg.	550	163	483	67	230	713	32,0

Schweine zähne Gruppe I - HNO_3 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n. dem Säurebad mg.	1. Diff. mg	Gewicht n. Bohren	Bohr- ausb.	Gesamt- diff. mg.	Normal- gew. mg.	Verlust in %
1	S	-	Kontrollzahn		1762	15	15	1777	0,86
2	M	10'	703	155	678	25	180	859	2,10
3	M	1 ⁰	3621	13	3547	74	87	3634	2,40
4	M	4 ⁰	1628	325	1547	81	406	1953	20,50
5	R	2 Tg.	1375	780	1301	74	854	2155	33,67
6	S	6 Tg.	544	272	449	95	367	834	40,80

Schweine zähne Gruppe II - HCL

1	M	-	Kontrollzahn		1544	38	38	1582	2,50
2	S	10'	659	110	636	23	133	769	17,34
3	M	1 ⁰	960	401	929	31	432	1361	31,76
4	S	4 ⁰	980	708	955	25	733	1688	43,50
5	M	2 Tg.	129	1782	---	---	129	1911	93,30
6	M	6 Tg.	239	1408	---	---	239	1647	85,55
					--- wurde nicht gebohrt				

Schweine zähne Gruppe III HCOOH

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad mg.	l.Diff. mg.	Gew.n.d. Bohren mg.	Bohr- aus- beute	Gesamt- diff.	Normal- gewang.	Verlust in %
2	M	1 Tg.	306	8	302	4	12	315	4% Mittelwerte
3	S	5 Tg.	330	14	325	5	19	344	5,1
4	M	10 Tg.	536	25	528	8	33	562	5,9
5	M	15 Tg.	674	29	659	15	44	704	6,3 Mittelwerte
6	M	19 Tg.	357	15	342	15	30	372	8,0

Schweine zähne Gruppe IV - CH₃COOH

1	M	- Kontrollzahn		-	2058	29	29	2087	1,46	1,03 %
2	M	- Kontrollzahn		-	2245	13	13	2258	0,60	
3	M	10'	2099	83	2089	10	93	2182	4,60	5,35 %
4	M	10'	2518	154	2509	9	163	2672	6,10	
5	M	1°	3417	142	3407	10	152	3559	4,28	5,58 %
6	M	1°	2079	144	2069	10	154	2223	6,89	
7	M	4°	906	70	891	15	85	976	8,52	8,69 %
8	kl.M	4°	915	78	905	10	88	993	8,87	
9	kl.M	2Tg.	1015	216	991	24	240	1231	19,40	19,40 %
10	M	6Tg.	1767	896	1733	34	930	2663	30,50	30,50 %

Pferdezähne Gruppe I - HNO_3

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad	l.Diff. mg.	Gew.n.d. Bohren	Bohr- ausb.	Ge samt- diff. mg.	Normal- gew. mg.	Verlust in %
1	S	-	Kontrollzahn -		11908	24	24	11932	0,40
2	S	-	Kontrollzahn -		8696	28	28	8724	0,30
3	S	10'	12163	311	12127	36	347	12474	2,60
4	S	10'	12232	376	12211	21	397	12608	3,25
5	S	1°	15440	1237	15392	48	1285	16677	7,56
6	S	1°	7536	507	7510	26	533	8043	6,57
7	S	4°	15600	1493	15539	61	1554	17093	9,10
8	S	4°	17134	1525	17097	37	1562	18659	8,30
9	S	2Tg.	10071	998	10014	57	1055	11069	9,51
10	S	2Tg.	15533	1222	14239	72	1294	15533	8,30
11	S	6Tg.	10057	1011	9804	253	1264	11068	11,30
12	S	6Tg.	9528	925	9290	238	1163	10453	11,10

Pferdezähne Gruppe II - HCL

1	S	-	Kontrollzahn -		14851	36	36	14887	0,30
2	S	-	Kontrollzahn -		10079	29	29	10108	0,20
3	S	10'	9477	1736	9437	40	1776	11213	14,30
4	S	10'	11842	1025	11818	24	1049	12867	8,0
5	S	1°	11408	1616	11361	47	1663	13024	11,53
6	S	1°	6687	1466	6664	23	1489	8153	18,0
7	S	4°	9746	2036	9710	37	2073	11782	17,50
8	S	4°	7884	2534	7857	27	2561	10418	24,50
9	S	2Tg.	8292	2955	8217	75	3030	11247	26,90
10	S	2Tg.	11576	4575	11522	54	4629	16151	29,50
11	S	6Tg.	7211	2379	7116	95	2474	9590	25,78
12	S	6Tg.	9034	4641	8889	145	4786	13676	35,50

Pferdezähne Gruppe III - HCOOH 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n. Säureb mg	l. Diff. mg.	Gew.n.d. Bohren mg.	Bohr- ausb. mg.	Gesamt- diff.mg.	Normal- gew.mg.	Verlust in %
1	S	- Kontrollzahn -			23011	35	35	23046	0,1
3	S	1Tg.	11343	88	11329	14	102	11431	0,9
4	S	1Tg.	8688	51	8678	10	61	8740	0,7
5	S	5Tg.	12992	164	12971	21	185	13156	1,4
6	S	5Tg.	13120	167	13090	30	197	13287	1,4
7	S	10Tg.	20050	243	20010	40	283	20294	1,3
8	S	10Tg.	19645	187	19782	51	238	19833	1,2
9	S	15Tg.	14590	175	14529	61	236	14765	1,6
10	S	19Tg.	13961	249	13898	63	312	14211	2,2

0,8

1,4

1,2

1,9

Pferdezähne Gruppe IV - CH₃COOH 5 %

1	S	Kontrollzahn	-	18988	12	12	19000	0,02	0,011
2	S	Kontrollzahn	-	12929	32	32	12922	0,102	
3	S	10'	6117	44	6105	12	56	6161	0,61
5	S	1Std.	10804	51	10782	22	73	10855	0,62
6	S	1°	8892	17	8864	28	45	8909	0,5
7	S	4°	13796	249	13772	24	273	14045	1,92
8	S	4°	15909	250	15875	34	284	16159	1,71
9	S	2Tg.	5890	255	5868	22	277	6145	4,41
10	S	2Tg.	10174	293	10131	43	336	10467	3,2
11	S	6Tg.	13406	492	13370	36	528	13899	3,8
12	S	6Tg.	9832	583	9790	42	625	10416	4,5

0,6

1,81

3,8

4,15

Fuchszähne Gruppe III HCOOH - 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad mg	1.Diff. mg	Gesamt- diff. mg	Normal- gewicht mg	Verlust in %	Bemerkungen
1	S	1Tg.	41	----	----	41	keine Gewichts- diff.	Gruppen III u. IV keine Bohrung (s. oben) kl.M = kleiner Molar
2	kl.M.	5Tg.	184	11	11	195	5,60	
3	S	10Tg.	90	6	6	96	6,30	S. = Schneidezahn
4	kl.M.	15Tg.	65	4	4	70	7,10	Die Kommastellen wurden jeweils auf- oder abgerun- det!
5	Gr.M.	19Tg.	612	49	49	662	7,50	Gr. M. = Großer Molar

Fuchszähne Gruppe IV - CH_3COOH 5 %

1	S	10'	42	1	1	43	2,40	Es handelt sich auch hier wieder um Mittelwerte !
2	R	1°	680	18	18	698	2,60	
3	kl.M.	4°	92	5	5	97	5,10	
4	kl.M.	2Tg.	122	61	61	183	33,00	
5	Gr.M.	6Tg.	529	308	308	837	36,80	

Rattenzähne Gruppe I - HNO_3 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad	Diff.1 mg	Normal- gewicht mg	Verlust in %	Bemerkungen
1	O	---	Kontrollzähne		58	---	Wegen der abnorm kleinen Zähne wurde auch hier nicht gebohrt !
2	U	--	"		70	---	
3	U	10'	60	16	76	20,0	Bei diesen Versuchen handelt es sich um Nagenzähne des Oberkiefers = O und des Unterkiefers = U
4	O	10'	52	11	63	17,0	
5	U	1°	43	21	64	33,0	35,04
6	O	1°	28	16	44	37,0	
7	U	4°	29	40	69	58,0	57,5
8	O	4°	37	50	87	57,0	
9	U	2Tg.	10	52	62	84,0	83,5
10	O	2Tg.	10	50	60	83,0	
11	U	6Tg.	10	56	66	86,0	85,0
12	O	6Tg.	12	62	74	84,0	

Rattenzähne Gruppe II HCL 5 %

1	U	Kontrollzähne		---	55	---	(s.oben)
2	O	"		---	117	---	
3	U	10'	25	47	72	65,0	63,5
4	O	10'	19	31	50	62,0	
5	U	1°	19	43	62	69,0	72,5
6	O	1°	12	38	50	76,0	
7	U	4°	18	87	105	82,0	79,0
8	O	4°	5	18	24	76,0	
9	U	2Tg.	5	47	52	90,0	89,0
10	O	2Tg.	9	60	69	88,0	
11	U	6Tg.	4	47	5	90,0	89,0
12	O	6Tg.	6	50	57	89,0	

Rattenzähne Gruppe III - HCOOH

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad mg	Diff. Löslich- keit	Normal- gewicht mg	Verlust in %	Bemerkungen
1	U	--	---	---	19	---	Bei diesen Zähnen konnte auch nicht gebohrt werden
2	O	--	---	---	34	---	
3	O	1Tg.	35	8	43	18	15,5%
4	O	1Tg.	46	7	53	13	
5	O	5Tg.	22	11	33	33,4	29,9
6	U	5Tg.	53	19	72	26,4	
7	U	10Tg.	39	20	59	34,0	34,7
8	O	10Tg.	27	15	42	35,5	
9	U	15Tg.	28	16	44	35,9=35,9%	
10	U	19Tg.	25	14	39	36,0	36,0
12	O	19Tg.	23	11	35	36,0	

Rattenzähne Gruppe IV - CH₃COOH 5 %

1	U	--	Kontrollzähne		27	---	1 und 2 sind Kontrollzähne, siehe auch oben!
2	U	--	*****		47	---	
3	O	10'	50	3	53	5,2	4,05
4	U	10'	66	2	68	2,9	
5	O	1°	53	4	57	7,0	8,0
6	U	1°	31	3	34	9,0	
7	U	4°	48	7	55	12,3	10,15
8	O	4°	69	6	75	8,0	
9	O	2 Tg.	32	20	52	= 38,0 %	
11	O	6 Tg.	30	23	53	43,0	50,0
12	O	6 Tg.	18	25	43	58,0	

Rehzähne Gruppe I - HNO_3 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad mg	1.Diff. mg	Gew.n.d. Bohren mg	Bohr- ausb. mg	Gesamt- diff. mg	Normal- gewicht mg	Verlust in %
1	M	---	Kontrollzahn		381	12	12	393	3,0
2	M	10'	105	25	---	---	25	130	19,2
3	M	1°	586	168	574	12	180	754	23,9
4	S	4°	114	43	96	18	61	158	38,8
5	M	2Tg.	85	272	---	---	272	357	76,2
6	S	6Tg.	19	58	---	---	58	77	75,5

Rehzähne Gruppe II - HCL 5 %

2	S	10'	182	44	174	8	52	226	23,0
3	Gr.M.	1°	321	94	308	13	107	415	25,6
4	kl.S.	4°	65	24	---	---	24	90	27,0
5	M	2Tg.	373	139	361	12	151	512	29,5
6	M	6Tg.	91	580	---	---	580	671	86,4

Reh zähne Gruppe III - HCOOH 5 %

Nr.	Zahn t	Gew.n. Säureb. mg	l.Diff. mg	Gew.n.d. Bohren mg	Bohr- ausb. mg	Gesamt- diff. mg	Normal- gewicht mg	Verlust in %
2	kl.M. 1Tg.	490	23	485	5	28	513	5,4
3	Gr.M. 5Tg.	472	27	465	7	34	510	6,7
4	S 10Tg.	97	7	---	---	7	104	6,9
5	Gr.M. 19Tg.	814	65	---	---	65	879	7,5
Die Zähne 5 u. 6 eigneten sich nicht mehr zum Bohren!								

Reh zähne Gruppe IV - CH₃COOH 5 %

3	kl.M. 1°	337	20	325	12	32	357	8,9
4	M 4°	213	24	209	4	24	237	10,1
5	kl.M. 2Tg.	239	89	229	10	99	327	30,1
6	Gr.M. 6Tg.	165	147	---	---	147	312	47,1

Schafzähne Gruppe I HNO_3 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad mg	1.Diff. mg	Gew.n.d. Bohren mg	Bohr- ausbeute mg	Gesamt- diff. mg	Normal- gewicht mg	Verlust in %
1	M	--	Kontrollzahn	-	1916	16	16	1932	0,75
2	Gr.M.	10'	1198	123	1171	27	150	1321	11,30
3	M	1°	1609	322	1582	27	349	1931	17,75
4	S	4°	112	399	---	--	399	512	78,00
5	S	2Tg.	15	83	---	--	83	99	84,00
6	M	6Tg.	188	1751	155	33	1784	1939	92,00

Bei den Zähnen Nr. 4 u. 5 konnte wegen zu starker Entkalkung nicht gebohrt werden!

Schafzähne Gruppe II - HCL - 5 %

2	kl.M.	10'	2585	561	548	13	574	3046	19,50 %
3	Gr.M.	1°	1496	495	1471	25	520	1991	34,80
4	kl.M.	4°	741	517	710	30	547	1258	78,00
5	Gr M.	2Tg.	611	534	-----	--	534	1145	87,50
6	S Gr.M.		100	94	-----	---	94	194	94,60
Zähne Nr.6 u.5: Keine Bohrung! (s.oben)									

Schafzähne Gruppe III HCOOH 5 %

Nr.	Zahn	t	Gew.n.d. Säurebad mg	1.Diff. mg	Gew.n.d. Bohren mg	Bohr- ausb. mg	Gesamt- diff. mg	Normal- gewicht mg	Verlust in %
2	kl.M.	1Tg.	566	19	559	7	26	585	4,40
3	S	5Tg.	99	5	---	---	5	105	5,60
4	Gr.M.	10Tg.	1082	55	1070	12	67	1138	5,90
5	kl.M.	15Tg.	305	20	---	---	20	326	6,20
6	kl.M.	19Tg.	381	14	369	12	26	396	6,80

Die Zähne 3 u. 5 eigneten sich nicht
zum Bohren !

Schafzähne Gruppe IV - CH₃COOH 5 %

2	M	10'	305	11	297	8	19	316	6,00
3	M	1	723	37	711	12	49	760	6,00
4	Gr.M.	4	735	40	723	12	52	775	6,80
5	Gr.M.	2Tg.	2262	212	2224	38	250	2474	10,10
6	M	6Tg.	1302	259	1274	28	287	1561	17,40

VERZEICHNIS DER GRAPHISCHEN DARSTELLUNGEN

Nr.

- | | | | |
|------|--|----------------------|--------------------------------|
| 1a) | 3 Geraden: Menschenzähne, | Gruppen I, II u. IV, | Zeiten 10', 1° 40' |
| 1b) | 3 " " " " | I, II " IV, | " 2-6 Tage. |
| 2a) | 3 Geraden: Fuchszähne | Gruppen I, II u. IV, | Zeiten 10' - 40' |
| 2b) | 3 " " " " | I, II " IV, | " 2-6 Tage. |
| 3a) | 3 Geraden: Schwein u. Pferd | " I, II u. IV, | " 10', 1° 40' |
| 3b) | 3 " " " " " | " I, II " IV, | " 2-6 Tage |
| 4a) | Ratten- u. Rehzähne | Gruppen I, II u. IV, | Zeiten 10', 1° 40' |
| 4b) | " " " " | " I, II " IV, | " 2-6 Tage |
| 5a) | Schaf- u. Rinderzähne | " I, II u. IV, | Zeiten 10', 1° 40' |
| 5b) | " " " " | " I, II " IV, | " 2-6 Tage |
| 6) | Zähne: Mensch, Pferd, Reh u. Schaf | in HCOOH | Zeiten 1-19 Tage |
| 7) | " Schwein u. Pferd | " " | " 1-19 Tage |
| 8) | Zähne: Rind, Fuchs u. Schwein | in HCOOH | Zeiten: 1-19 Tage |
| 9) | " Ratten, Reh u. Fuchs | " " | " 1-19 Tage |
| 10a) | Schmelzlöslichkeit bei Molaren u. Schaufeln: | | Zeiten 10'. 1° 40' |
| 10b) | Dito | | " 2-6 Tage |
| 11a) | Abhängigkeit d. Schmelzlöslichkeit v. d. Zahngröße)
u. d. Stärke d. Schmelzmantels: | |) Gruppe I HNO ₃ |
| | Zähne: Rind, Pferd, Schwein u. Ratte | | |
| 11b) | Dasselbe wie 11a, nur mit Gruppe II, HCl | | |
| 11c) | " " 11b, " " " " | III, Ameisensäure | |
| 11d) | " " 11c, " " " " | IV, Essigsäure | |
| 12a) | Bohorausbeute (mg) nach d. Säurebad: | | Zeiten: 10', 1°, 40' |
| 12b) | " " " " " " | | " 2-6 Tage (HNO ₃) |
| 12c) | Bohorausbeute: Pferd, Rind, Schwein, Reh u. Schafz.: | HCL: | 10'-40' |
| 12d) | " " " " " " | " " " " | HCL: 2-6 Tage |
| 12e) | Bohorausbeute in HCOOH (ein Bild) | | Zeiten: 1-19 Tage |
| 12f) | " " in Essigsäure | " " | 10'-40' |
| 12g) | " " in " " | " " | 2-6 Tage! |

Nr 1a

SCHMELZLÖSLICHKEIT: MENSCH

Gruppe I = Salpetersäure (HNO_3)

Gruppe II = Salzsäure (HCl)

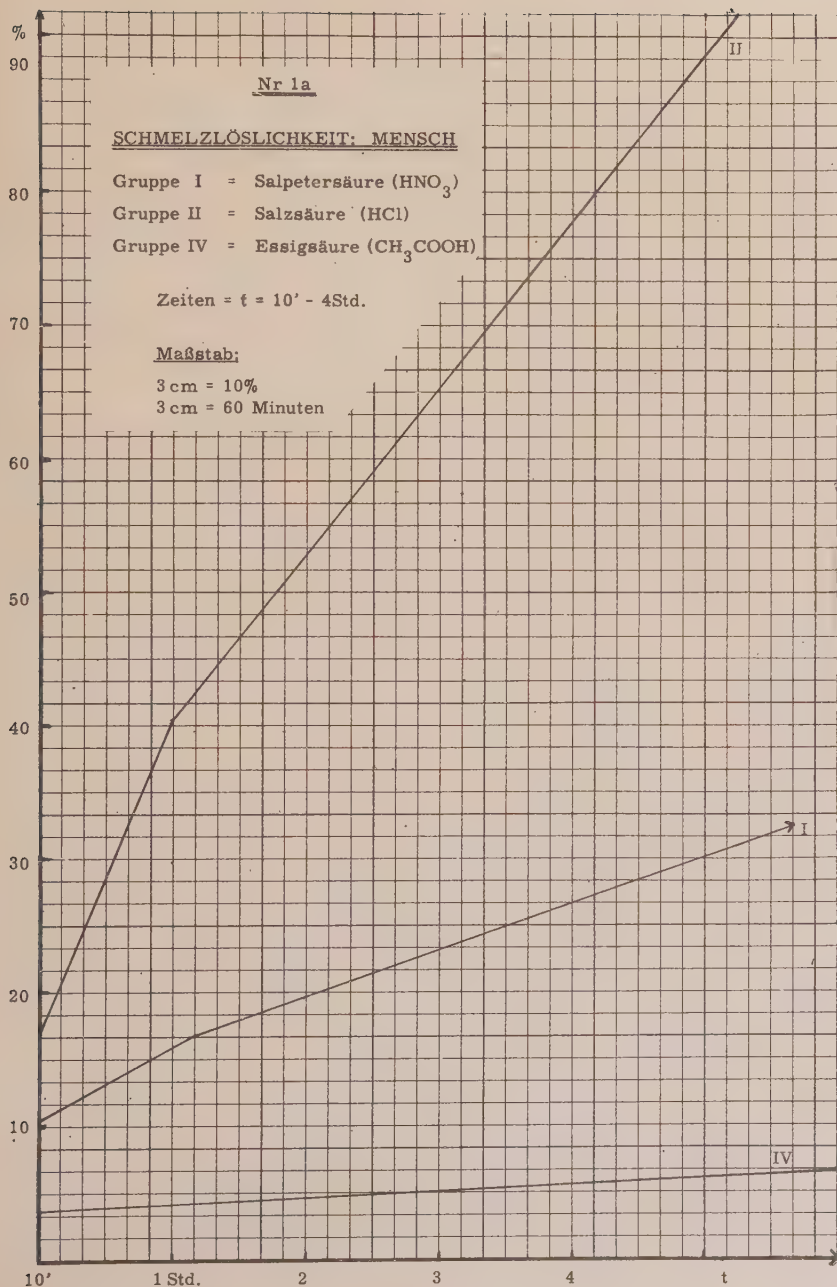
Gruppe IV = Essigsäure (CH_3COOH)

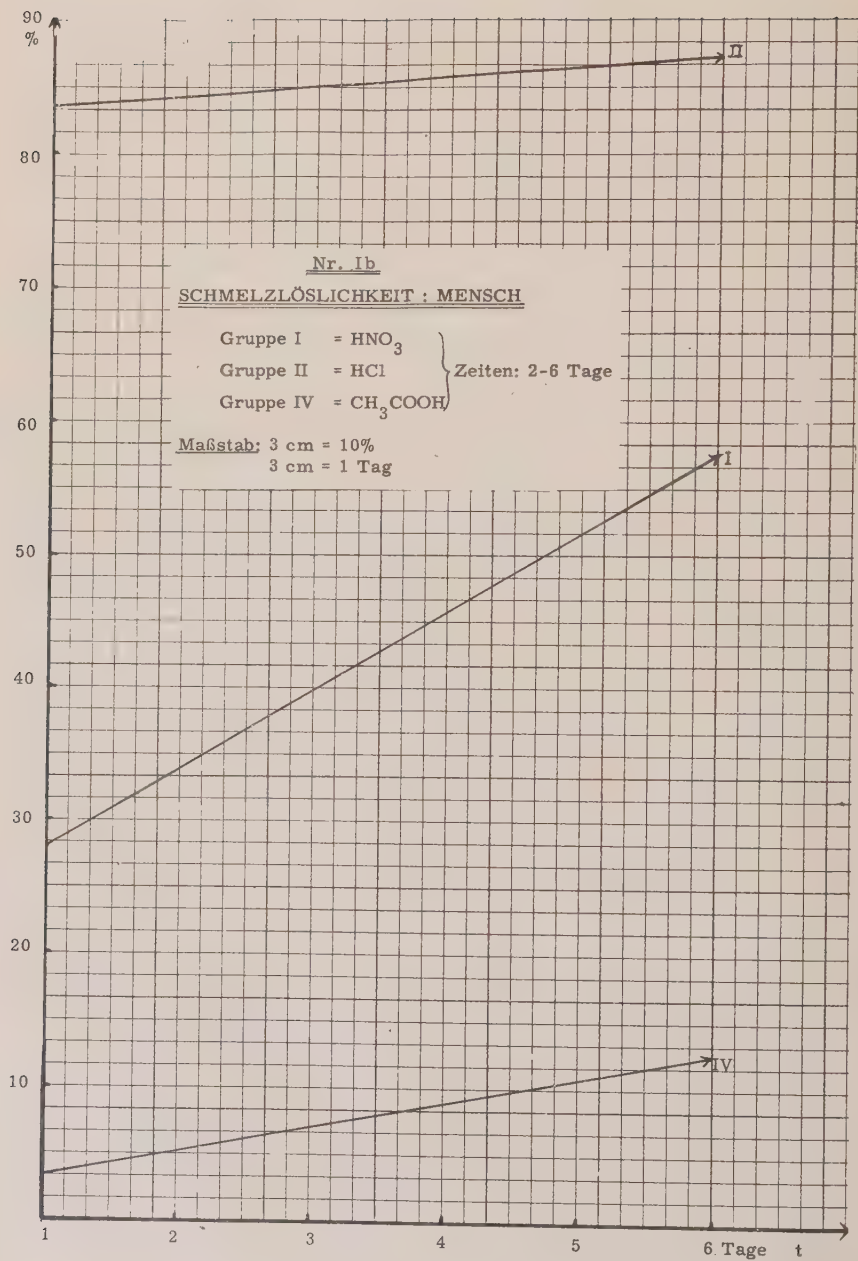
Zeiten = $t = 10' - 4\text{Std.}$

Maßstab:

3 cm = 10%

3 cm = 60 Minuten





Nr. 2a

SCHMELZLÖSLICHKEIT IN %:

FUCHSZÄHNE: Gruppe I HNO_3

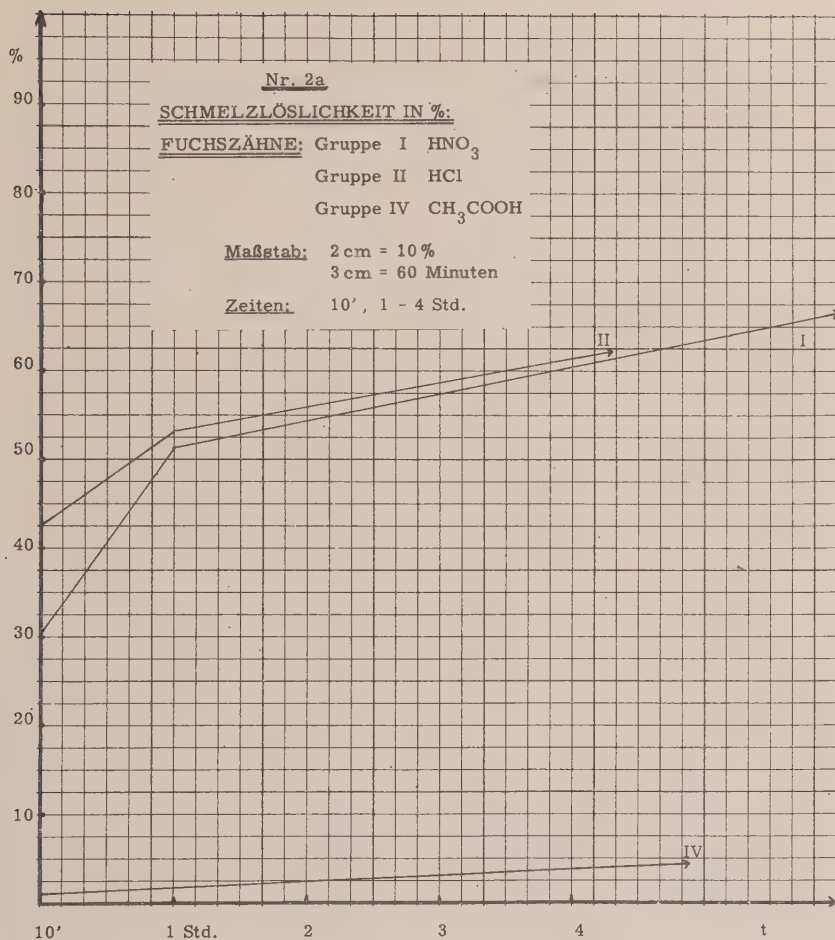
Gruppe II HCl

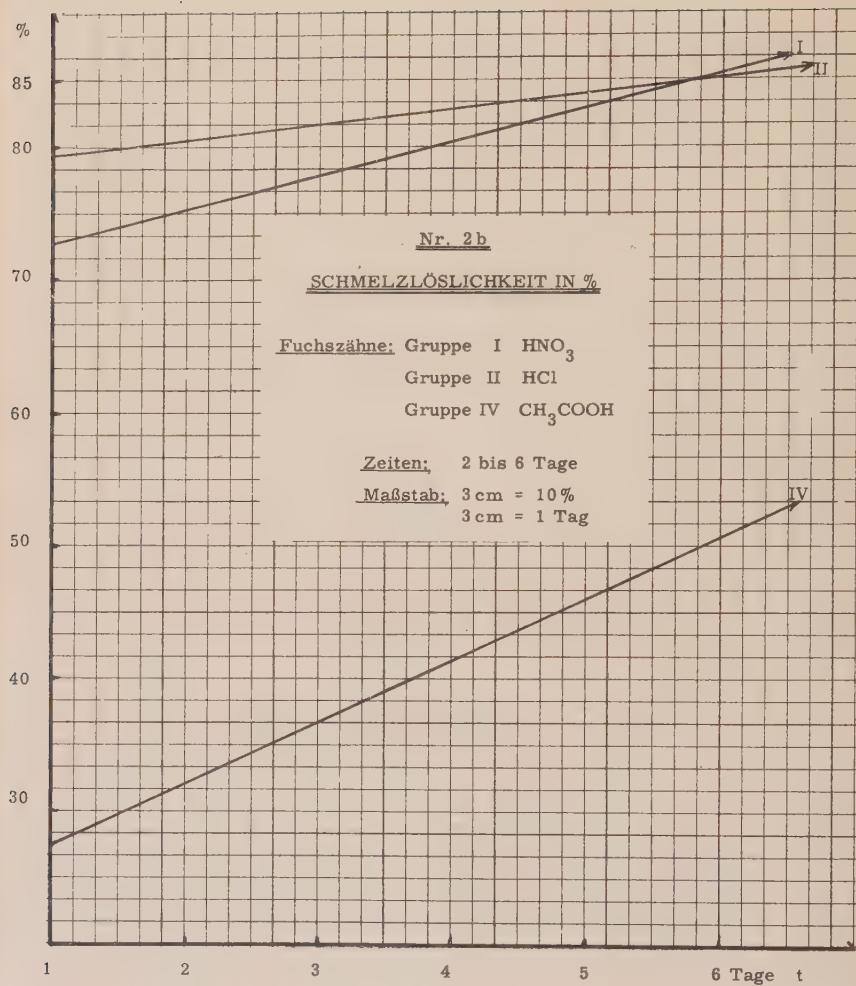
Gruppe IV CH_3COOH

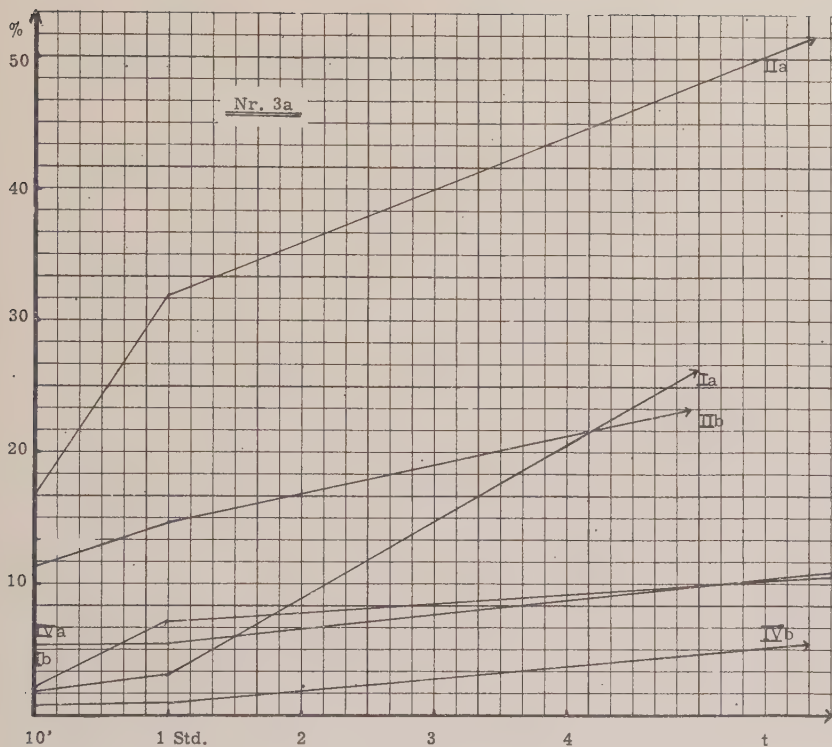
Maßstab: 2 cm = 10 %

3 cm = 60 Minuten

Zeiten: 10', 1 - 4 Std.







Nr. 3 a

SCHMELZLÖSLICHKEIT IN %

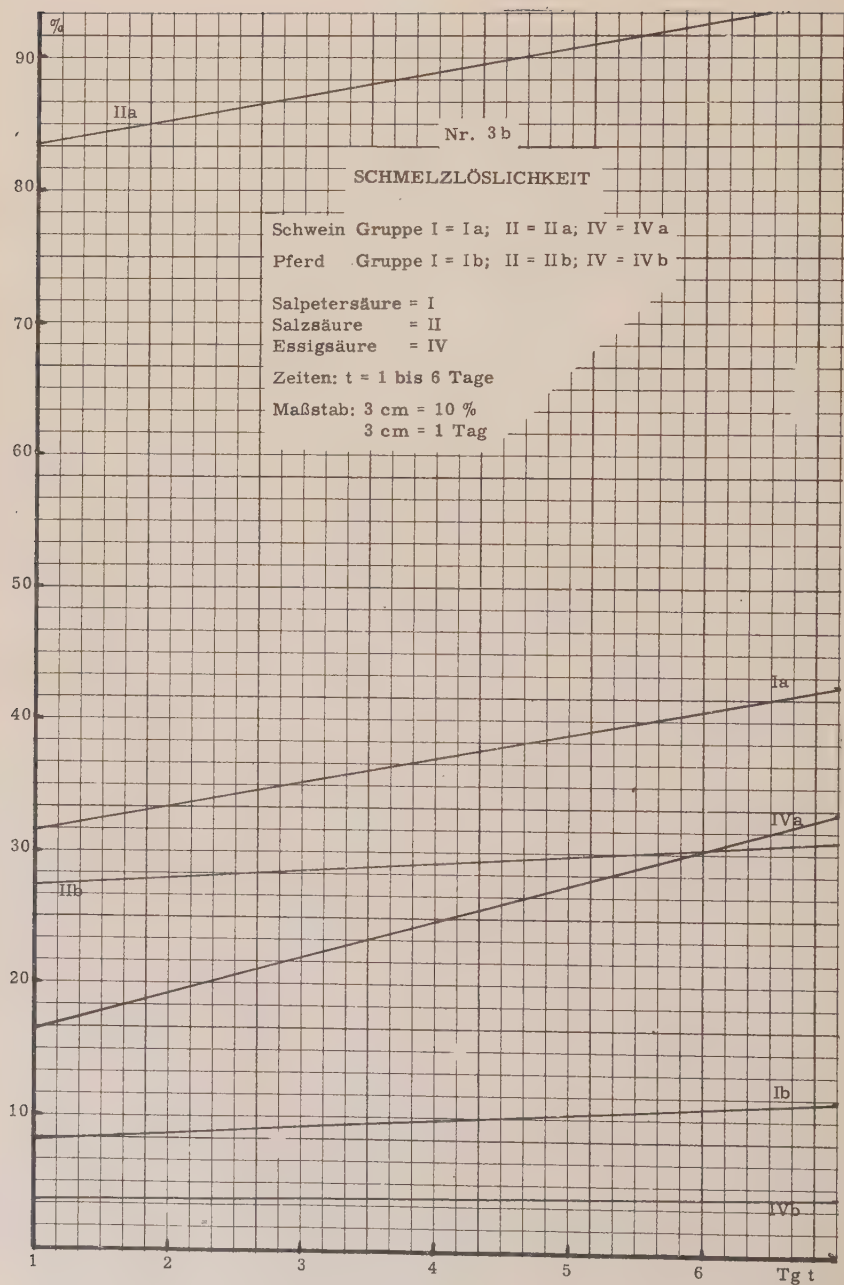
Schweinezähne Pferdezähne	{	Gruppe I = HNO_3 Salpetersäure
		Gruppe II = HCl Salzsäure
		Gruppe IV = CH_3COOH Essigsäure

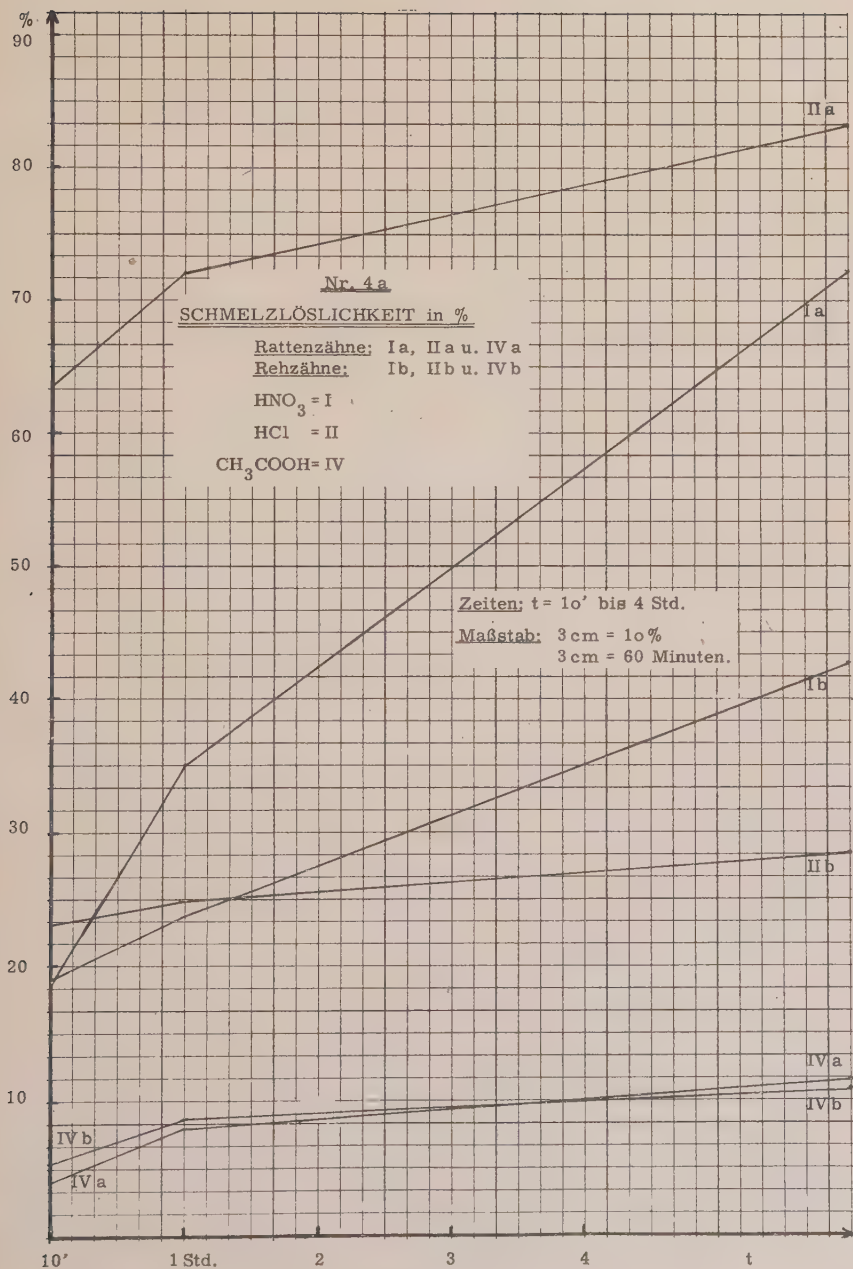
Ia bis IVa = Schweinezähne

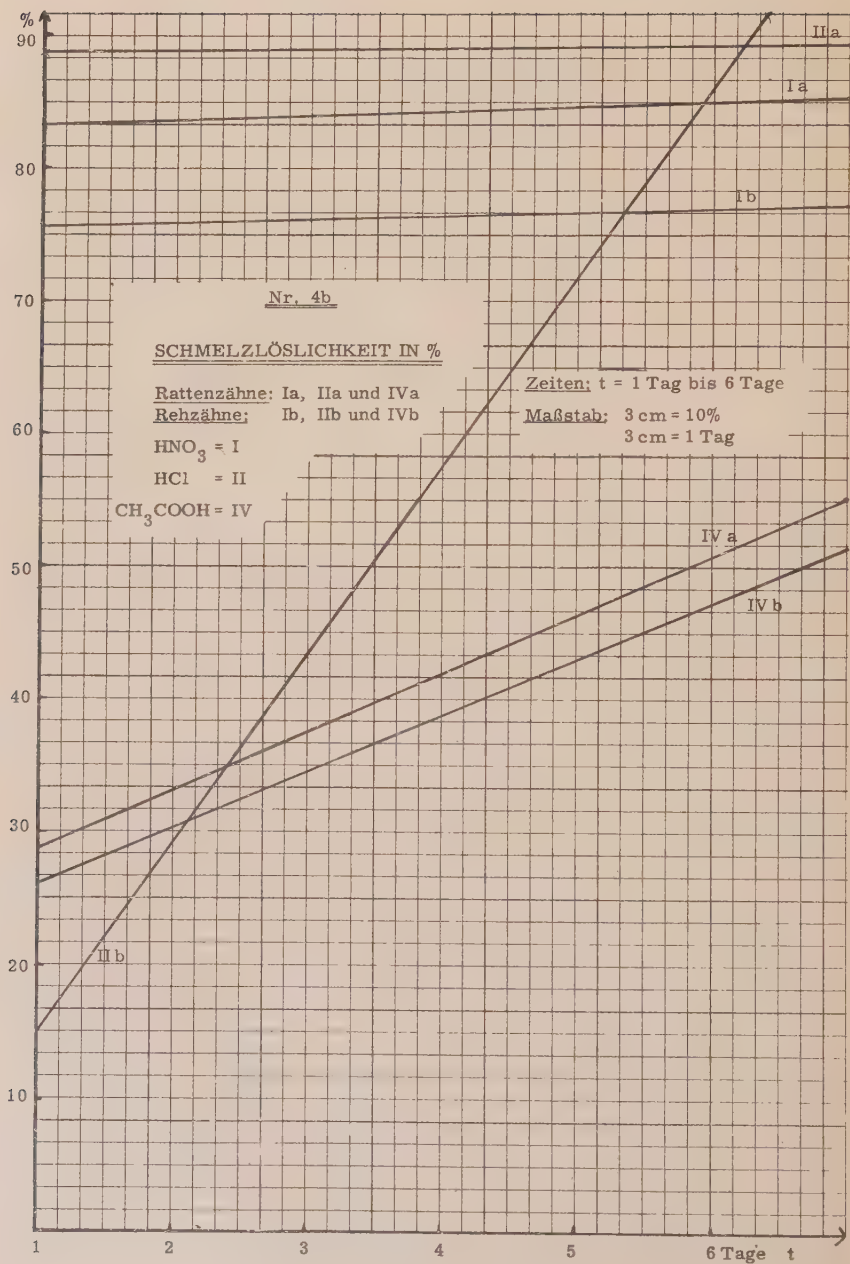
Ib bis IVb = Pferdezähne

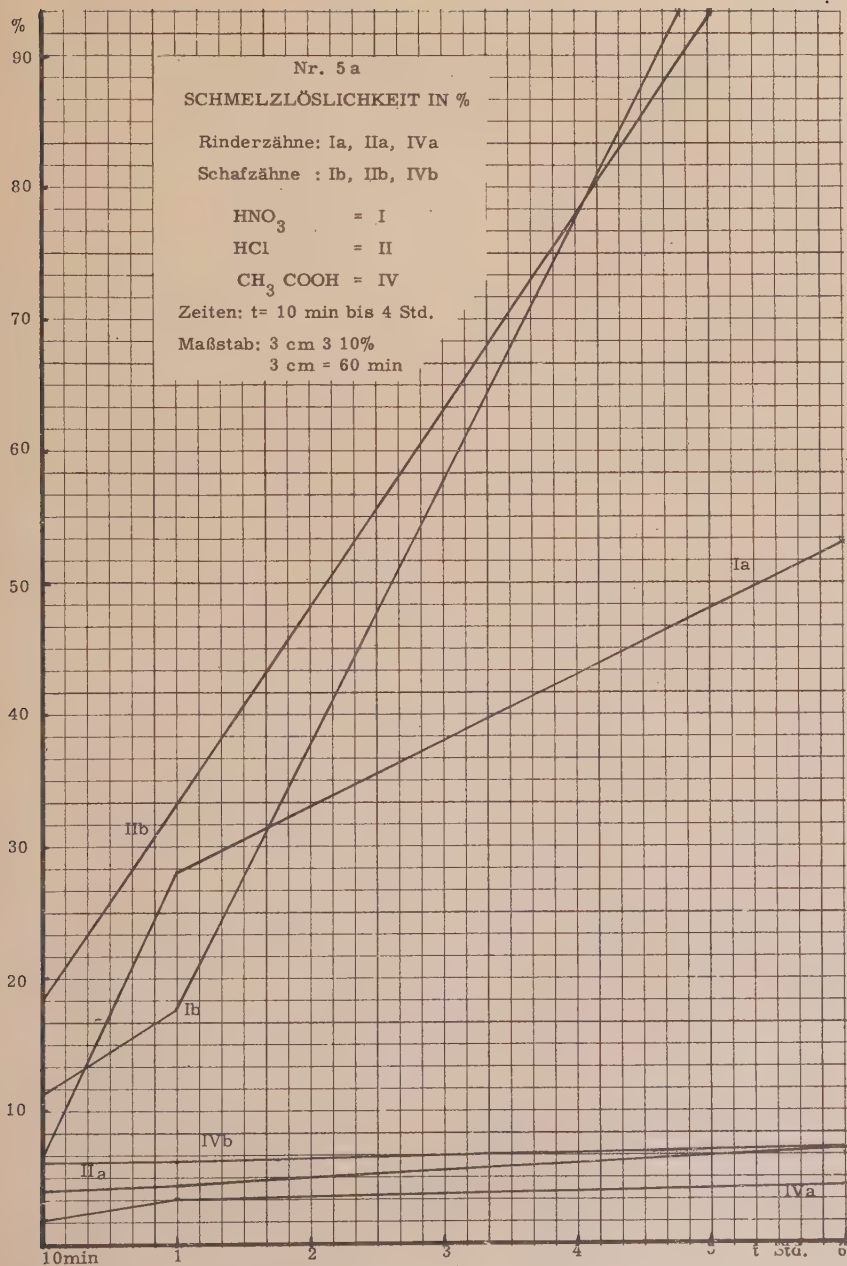
Zeiten: 10 Minuten bis 4 Stunden

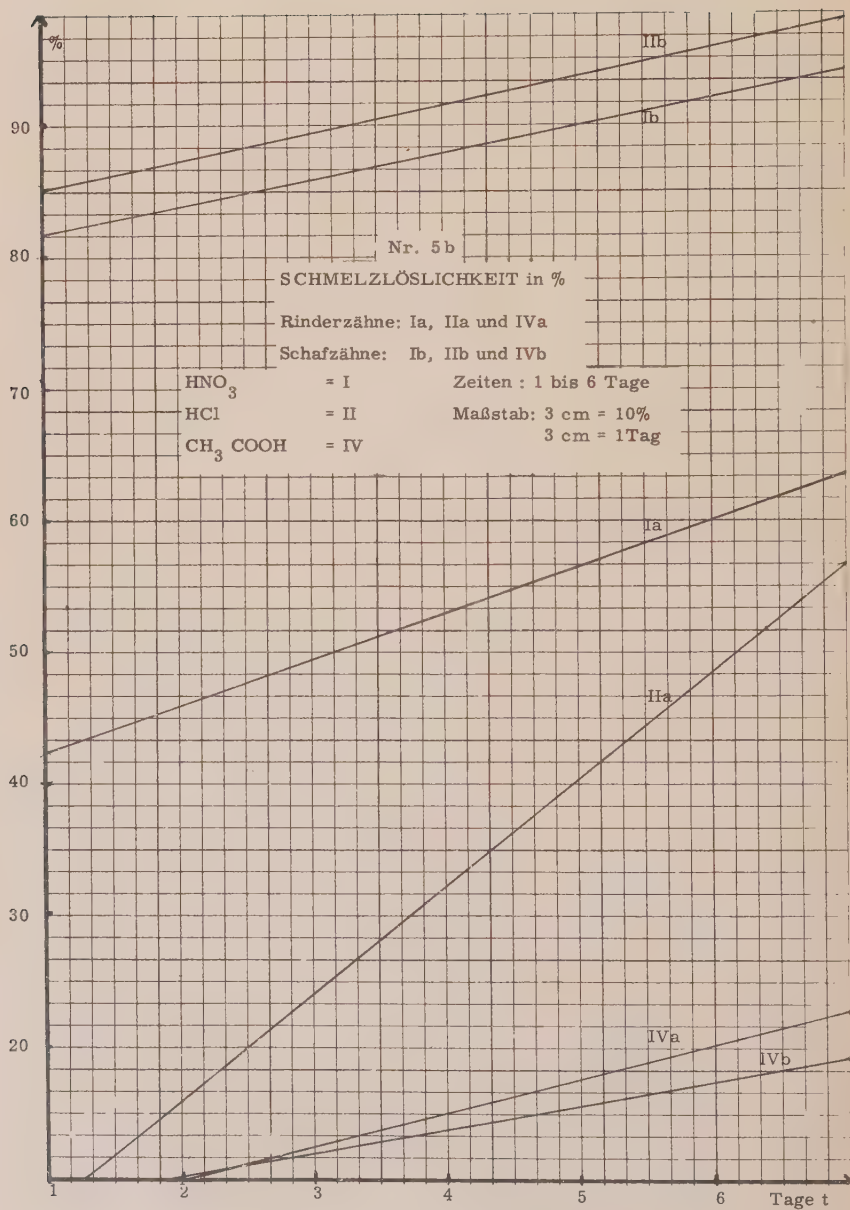
Maßstab: 3 cm = 10 %
3 cm = 60 Minuten.



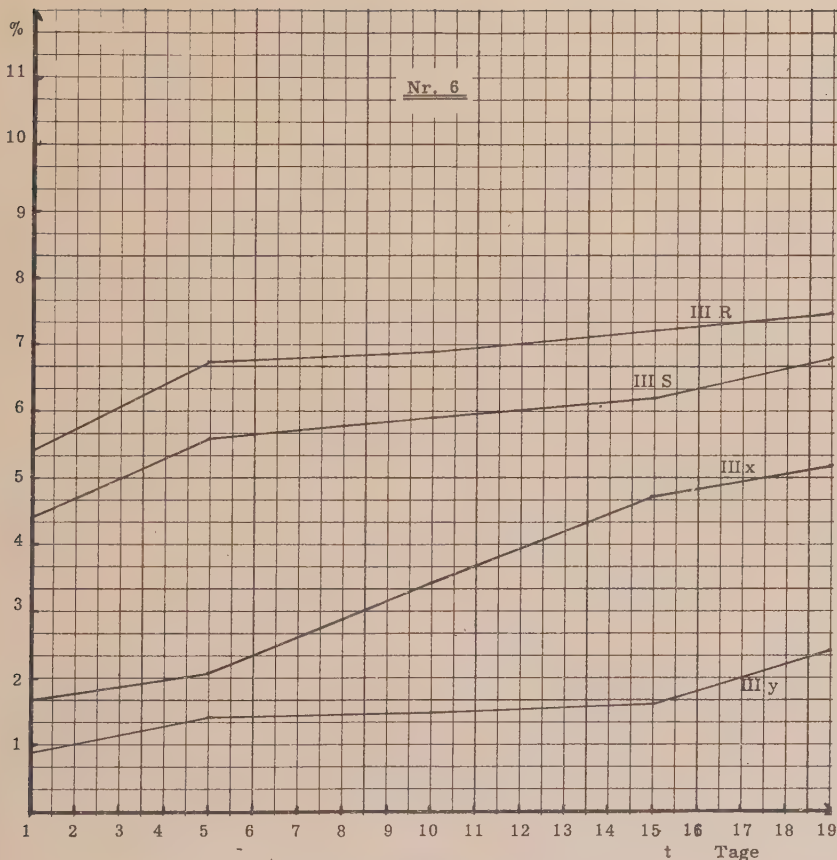








Nr. 6



Nr. 6

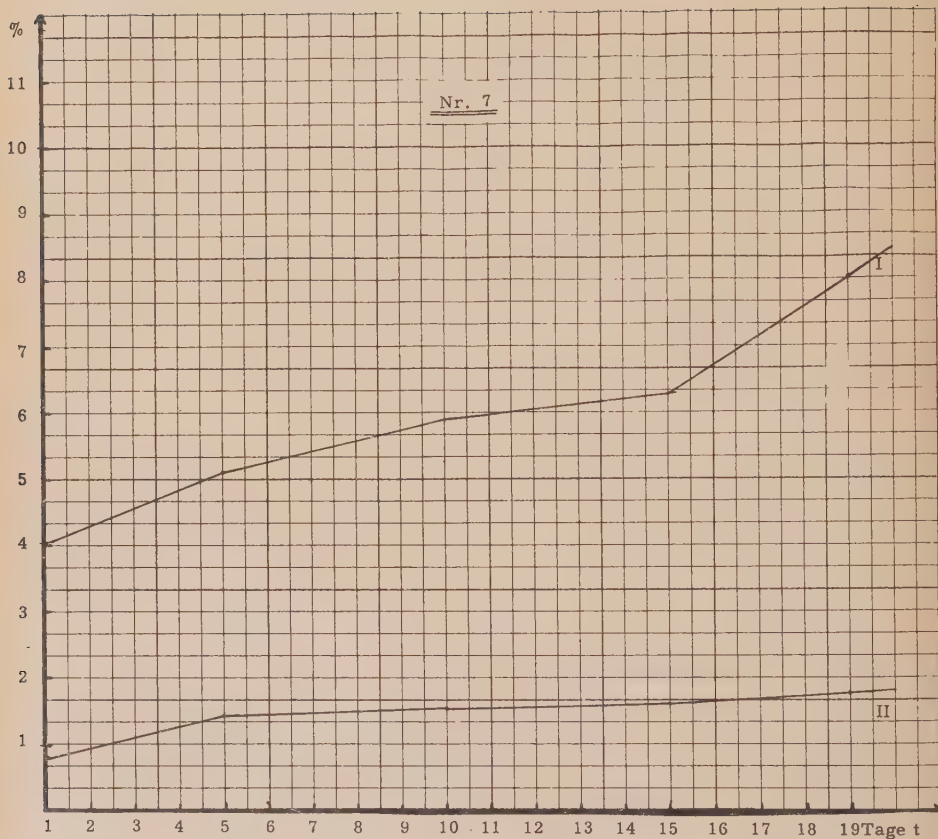
SCHMELZLÖSLICHKEIT IN %

Menschenzähne
Pferdezähne
Rehzähne
Schafzähne

III x
III y
III R
III S

Unter der Einwirkung von HCOOH
(Ameisensäure)

Zeit: 1 Tag - 19 Tage
Maßstab: 15 mm = 1%
1 cm = 1 Tag

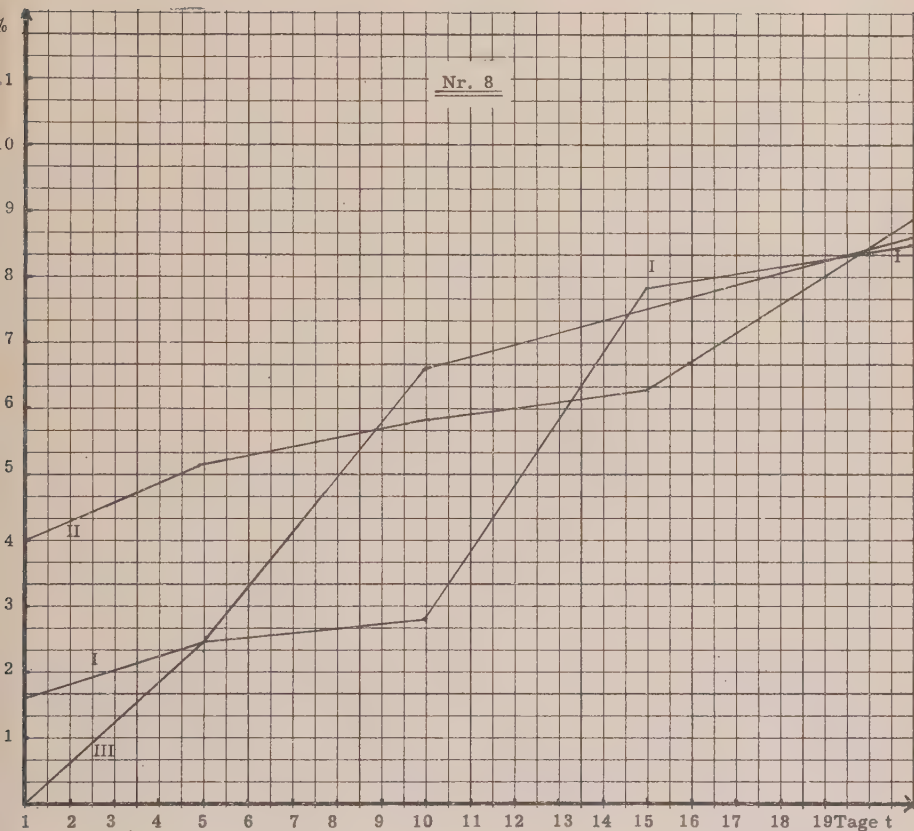


Nr. 7
SCHMELZLÖSLICHKEIT IN %

Schweinezähne: I } Unter der Einwirkung von Ameisensäure
 Pferdezähne: II } HCOOH

Zeiten: 1 - 19 Tage

Maßstab: 15 mm = 1 %
 10 mm = 1 Tag



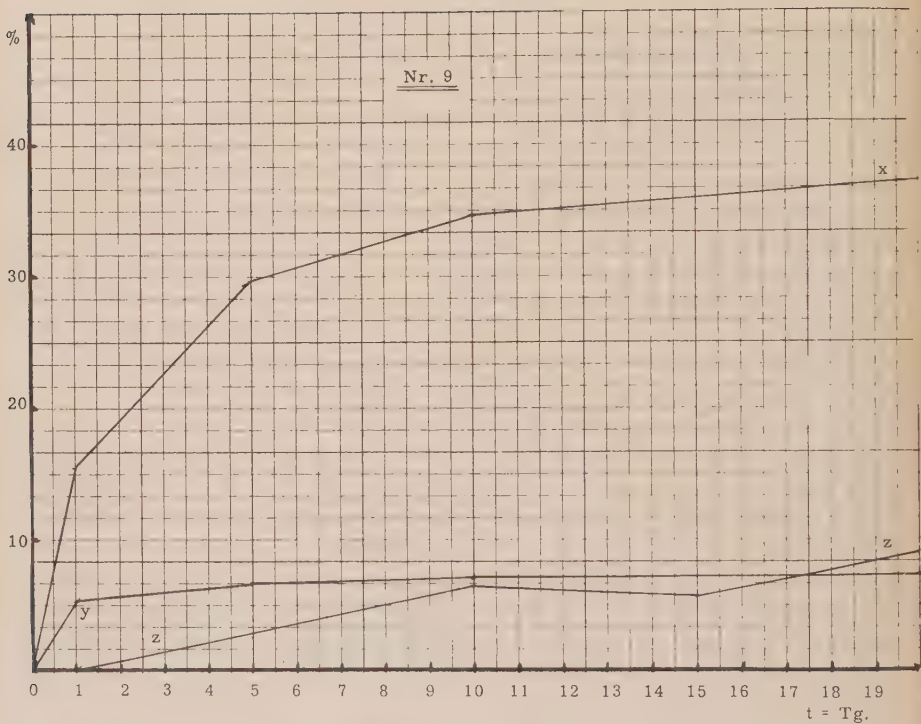
Nr. 8
SCHMELZLÖSLICHKEIT IN %

Rind: Kurve I }
Fuchs: Kurve III }
Schwein Kurve II }

3 Zahngruppen zum Vergleich in Ameisensäure
(HCOOH)

Zeiten: 1 bis 19 Tage

Maßstab: 15mm = 1 %
10mm = 1 Tag

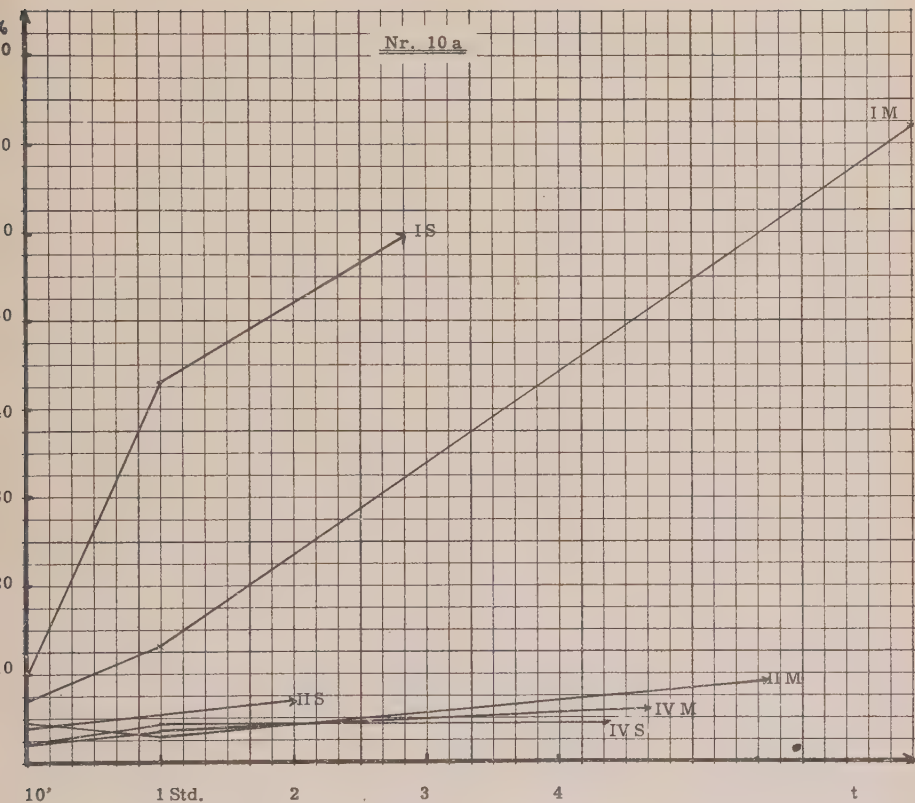


Nr. 9
SCHMELZLÖSLICHKEIT IN %

<u>Rattenzähne</u> = Kurve x	} HCOOH (Ameisensäure)
<u>Rehzähne</u> = Kurve y	
<u>Fuchszähne</u> = Kurve z	

Zeiten: 1 bis 19 Tage

Maßstab: 3 cm = 10 %
1 cm = 1 Tag



Nr. 10a

SCHMELZLÖSLICHKEIT
BEI MOLAREN UND SCHAUFELN (Rind)

I S = Schaufeln in HNO_3

I M = Molaren in HNO_3

II S = Schaufeln in HCl

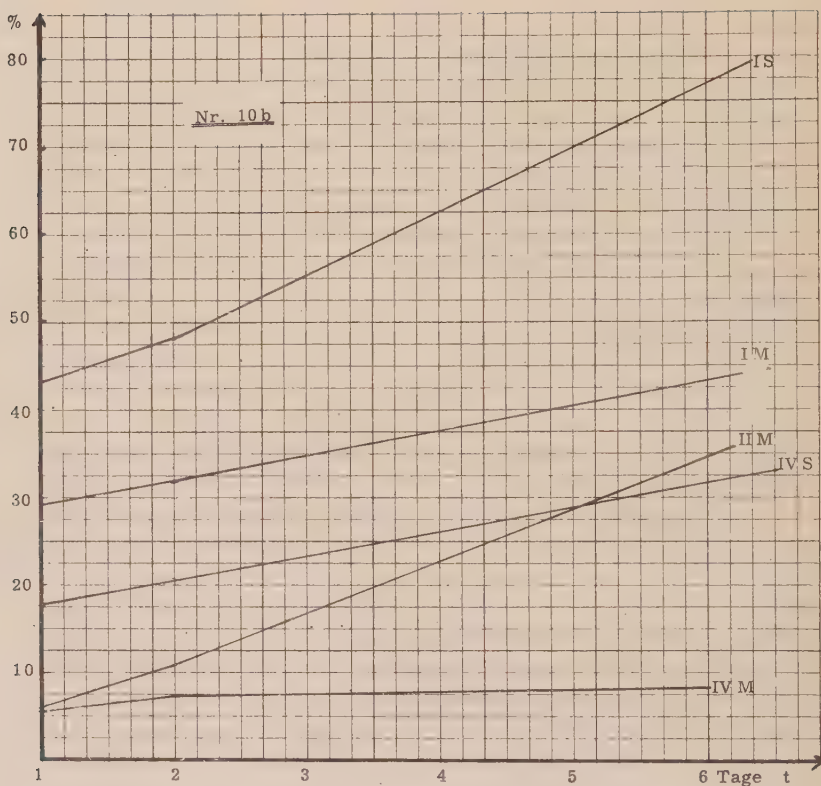
II M = Molaren in HCl

IV S = Schaufeln in CH_3COOH

IV M = Molaren in CH_3COOH

Zeiten: 10' bis 4 Stunden

Maßstab: 2 cm = 10 %
3 cm = 60 Minuten



Nr. 10b

SCHMELZLÖSLICHKEIT BEI MOLAREN u. SCHAUFELN (Rind)

- I S = Schaufeln in HNO_3
 IM = Molaren in HNO_3
 IIS = Gerade fehlt
 IIM = Molaren in HCl
 IV M = Molaren in CH_3COOH
 IVS = Schaufeln in CH_3COOH

Zeiten: 2 bis 6 Tage

Maßstab: 2 cm = 10%
3 cm = 1 Tag

86,6
%

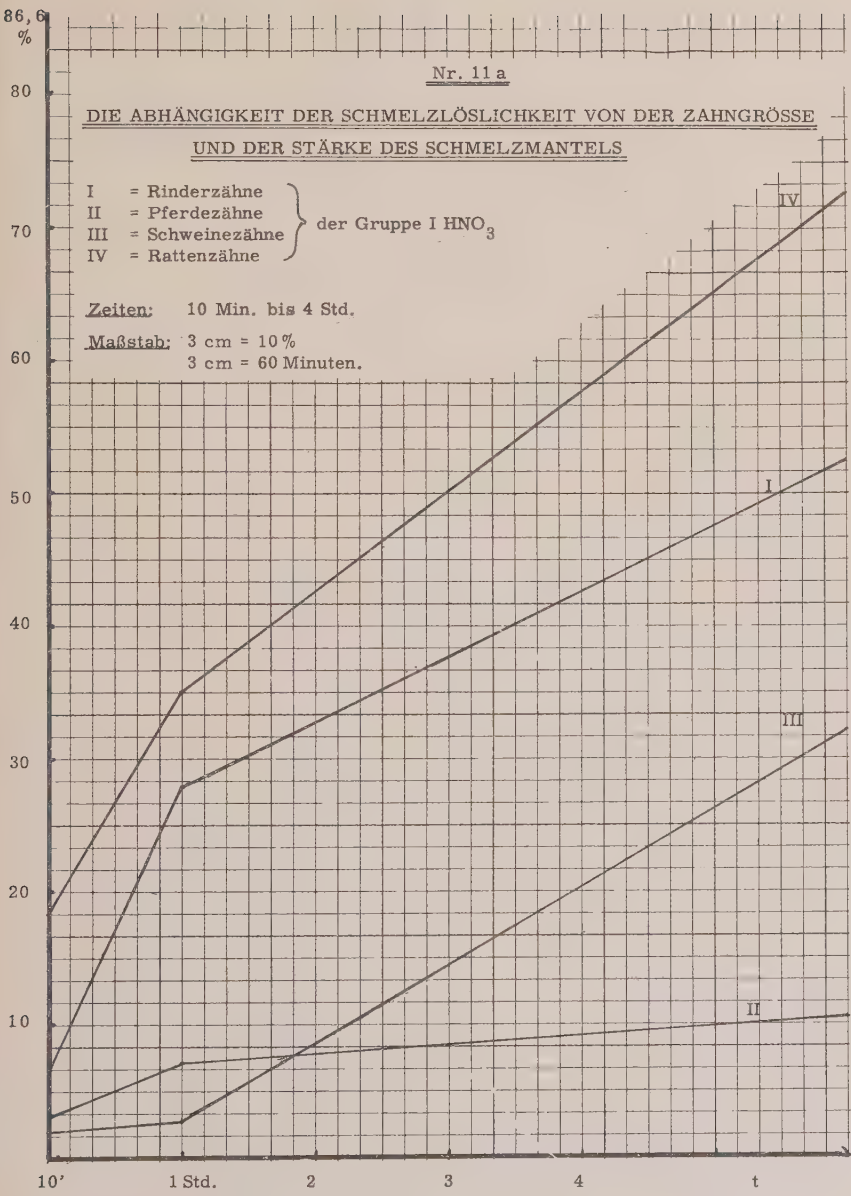
Nr. 11 a

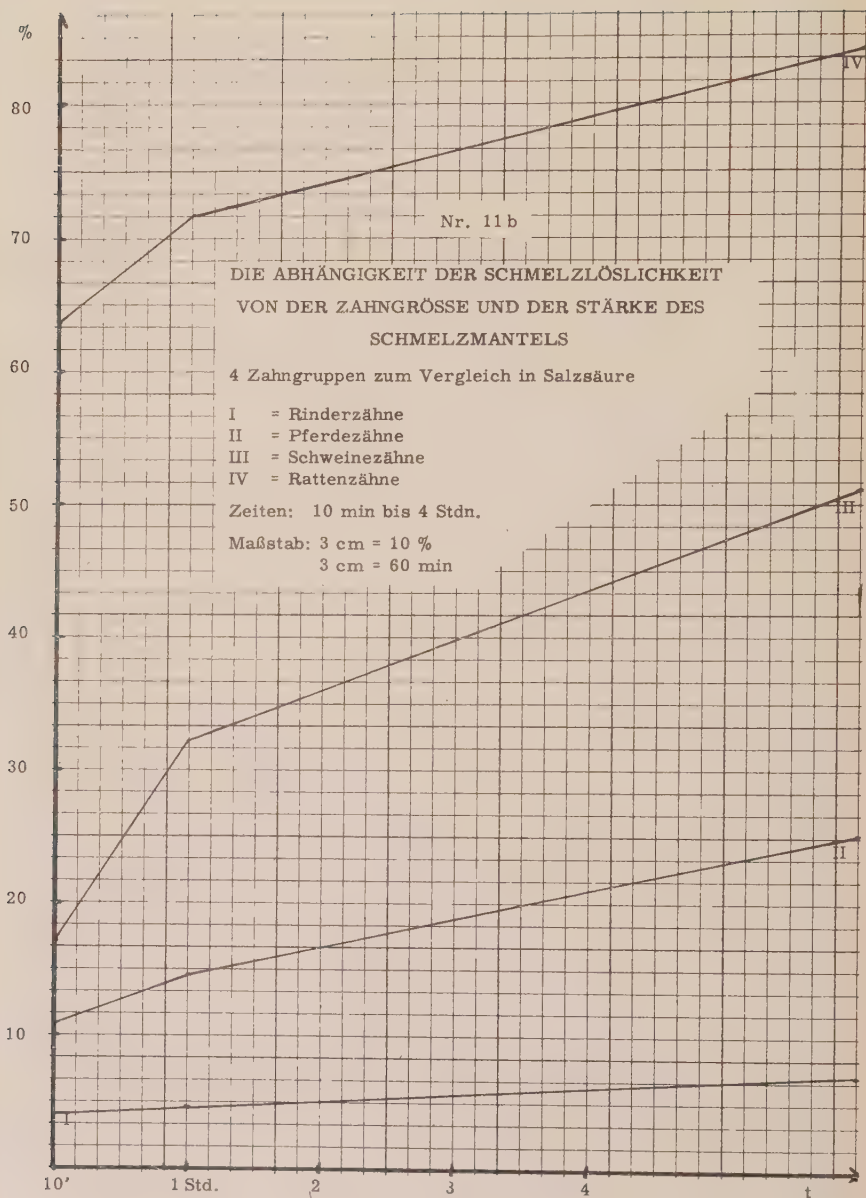
DIE ABHÄNGIGKEIT DER SCHMELZLÖSLICHKEIT VON DER ZAHNGRÖSSE
UND DER STÄRKE DES SCHMELZMANTELS

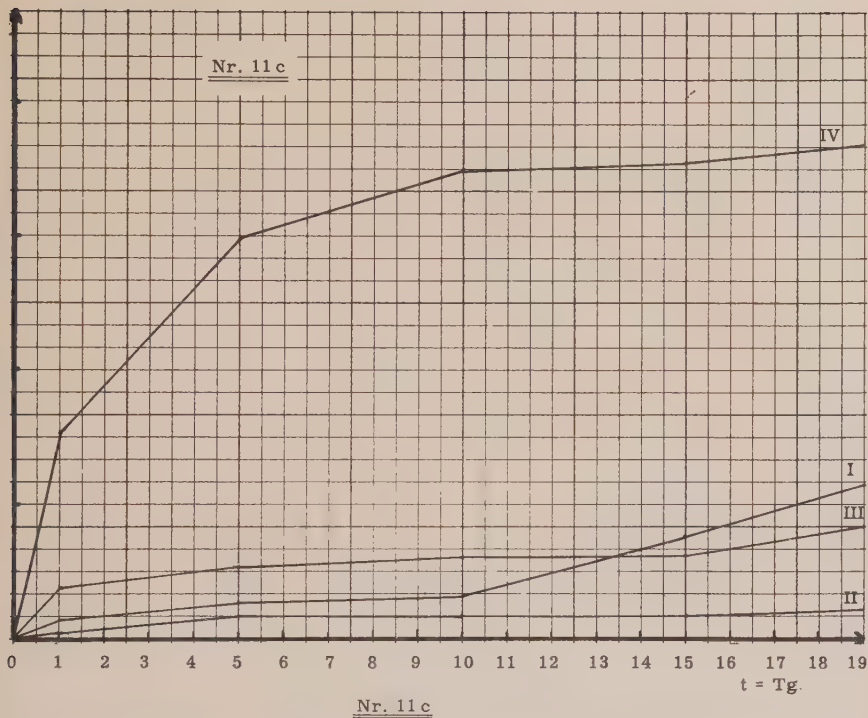
- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| I = Rinderzähne | } der Gruppe I HNO ₃ |
| II = Pferdezähne | |
| III = Schweinezähne | |
| IV = Rattenzähne | |

Zeiten: 10 Min. bis 4 Std.

Maßstab: 3 cm = 10 %
3 cm = 60 Minuten.





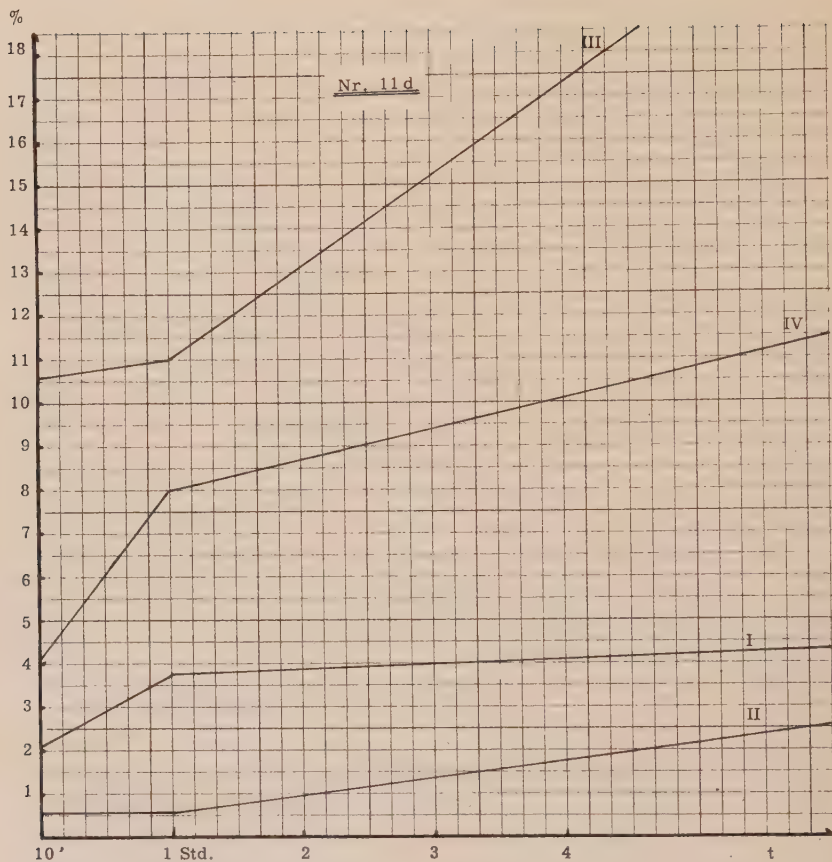


DIE ABHÄNGIGKEIT DER SCHMELZLÖSLICHKEIT VON DER ZAHNGRÖSSE
UND DER STÄRKE DES SCHMELZMANTELS .

<u>I = Rinderzähne</u> <u>II = Pferdezähne</u> <u>III = Schweinezähne</u> <u>IV = Rattenzähne</u>	}	Gruppe III <chem>HCOOH</chem> (Ameisensäure)
--	---	--

Zeiten: 1 bis 19 Tage

Maßstab: 3 cm = 10 %
 1 cm = 1 Tag.



Nr. 11 d

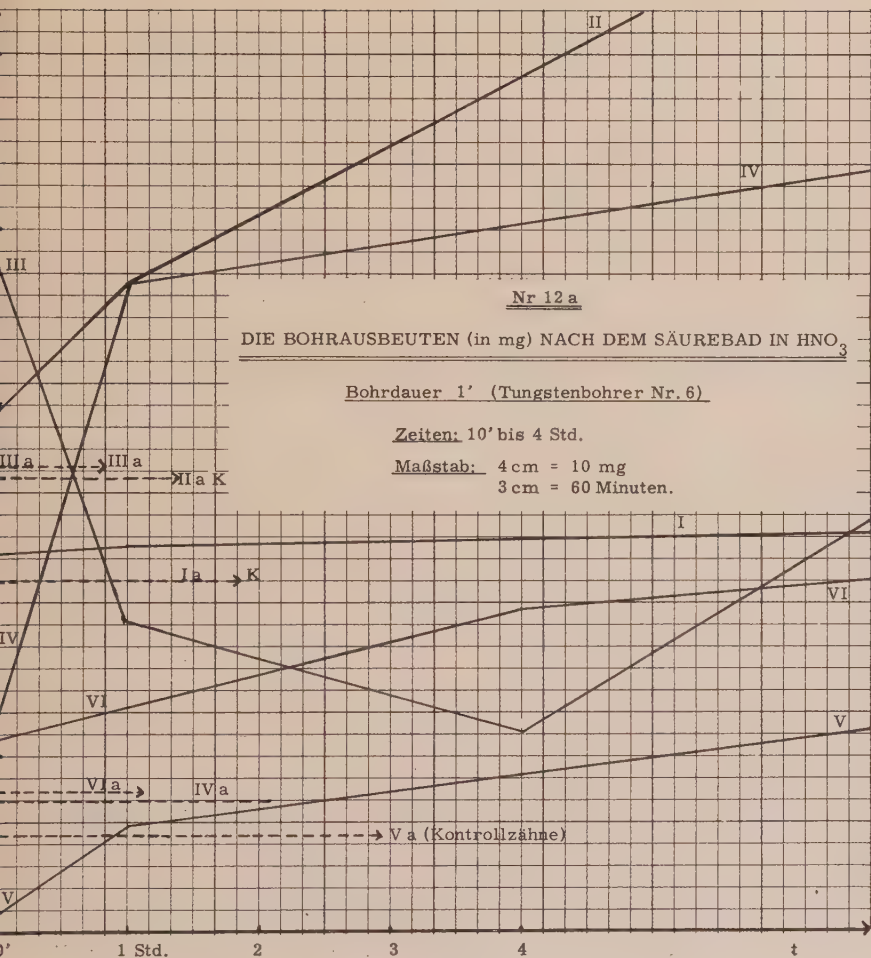
DIE ABHÄNGIGKEIT DER SCHMELZLÖSLICHKEIT VON DER ZAHNGRÖSSE
UND DER STÄRKE DES SCHMELZMANTELS

- I I = Rinderzähne
 II = Pferdezähne
 III = Schweinezähne
 IV = Rattenzähne

Gruppe IV CH_3COOH

Zeiten: 10 Min bis 4 Std.

Maßstab: 1 cm = 1 %
 3 cm = 60 Min.



I = Menschenzähne

Ia = Kontrollzähne (keine Säurebehandlung)

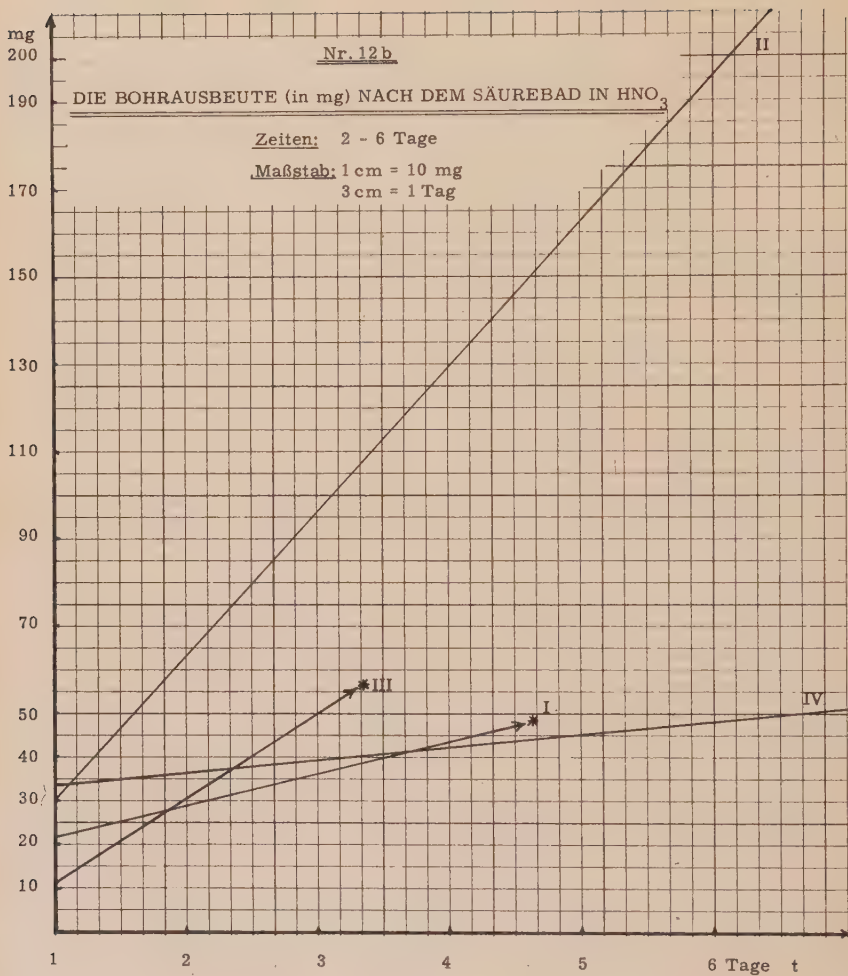
II = Pferdezähne IIa Kontrollzähne

III = Rinderzähne IIIa Kontrollzähne

IV = Schweinezähne IVa Kontrollzähne

V = Rehzhähne Va Kontrollzähne

VI = Schafzähne VIa Kontrollzähne



I = Menschenzähne *Gerade mit Pfeil deutet die vollständige Entkalkung an (keine Bohrausbeute *)

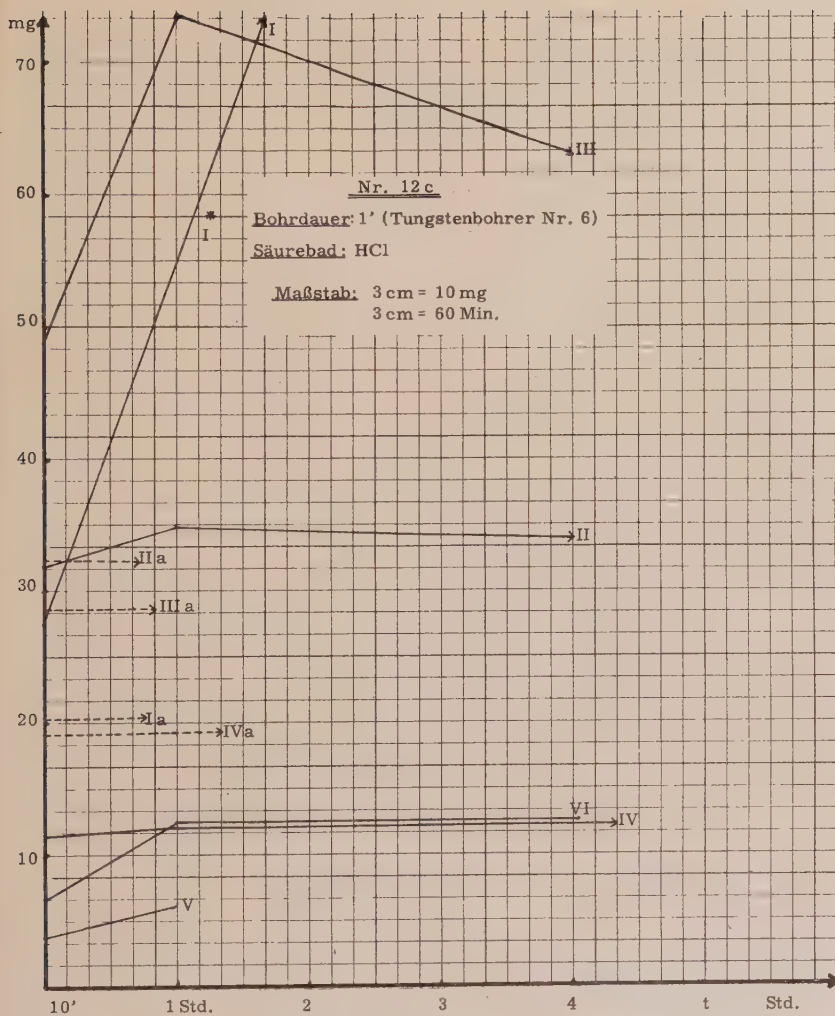
II = Pferdezhähne

III* = Rinderzähne

IV = Schweinezähne

Alle Gruppen in HNO_3 (Salpetersäure)

Vu.VI* Zähne eigneten sich nicht mehr zum Bohren!



Nr. 12c

Die Bohrausbeuten (in mg) nach dem Säurebad: Zeiten = t: 10' bis 4 Std., in HCl.

I = Menschenzähne * nach 4 Std. keine Bohrausbeute!

Ia = Kontrollzähne;

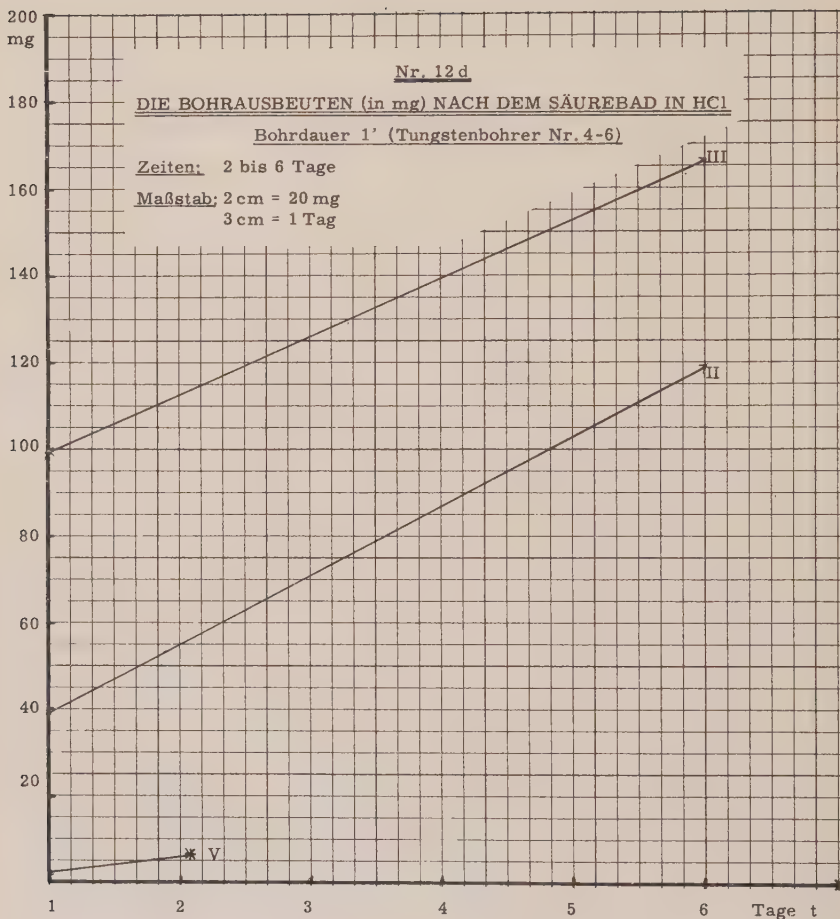
II = Pferdezähne

IIa = Kontrollzähne; III = Rinderzähne IIIa = Kontrollzähne;

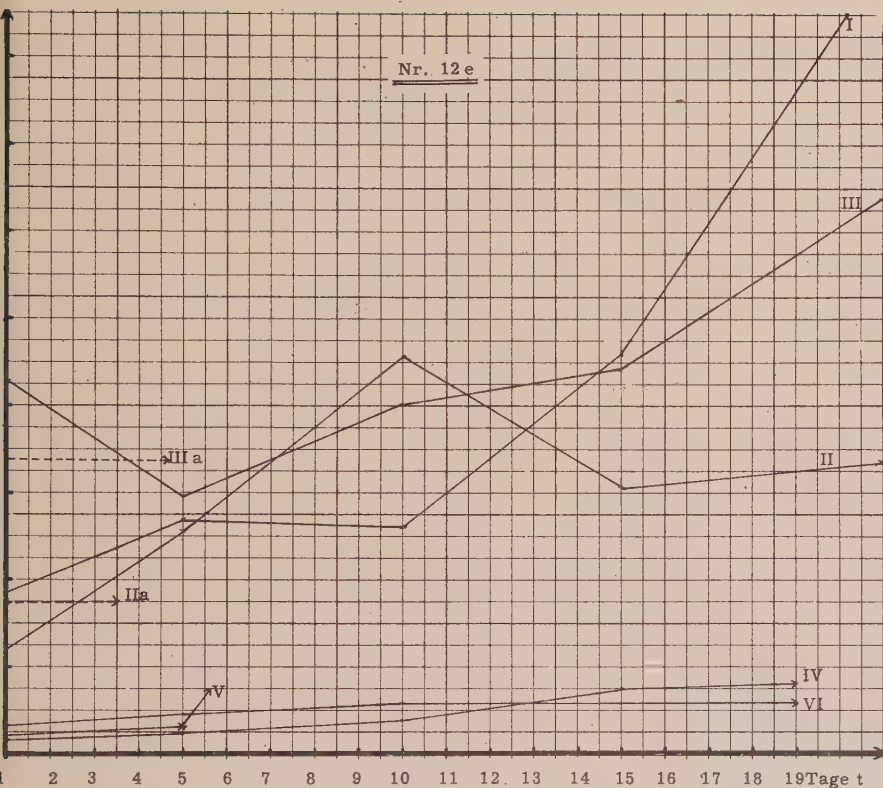
IV = Schweinezähne

IVa = Kontrollzähne; V = Rehzähne, keine Kontrollzähne!

VI = Schafzähne, keine Kontrollzähne!



- I = Keine Gerade (es wurde nicht mehr gebohrt)
 II = Pferdezähne
 III = Rinderzähne
 IV = Schweinezähne (es wurde nicht mehr gebohrt)
 V = Rehzähne: 1 Bohrung nach 2 Tagen ergab 6 mg Ausbeute
 VI = Schafzähne (keine Bohrung)



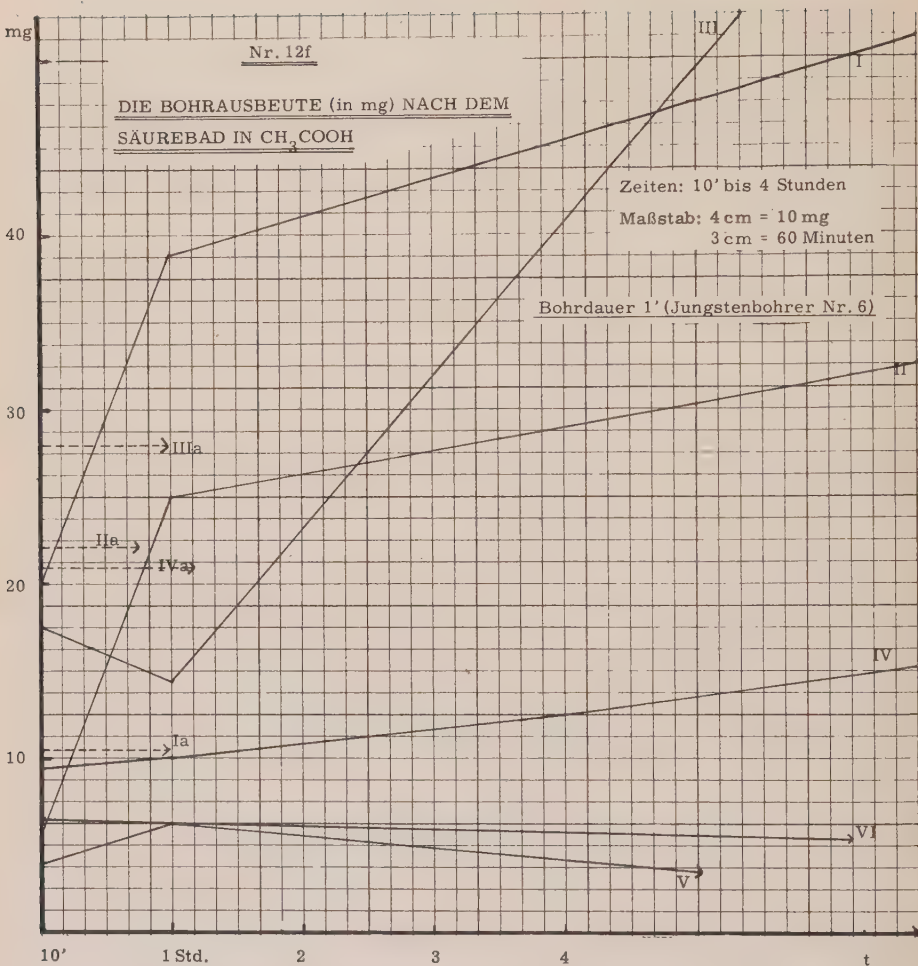
BOHRAUSBEUTE (in mg) NACH SÄUREBAD IN HCOOH

Bohrdauer 1 Minute.

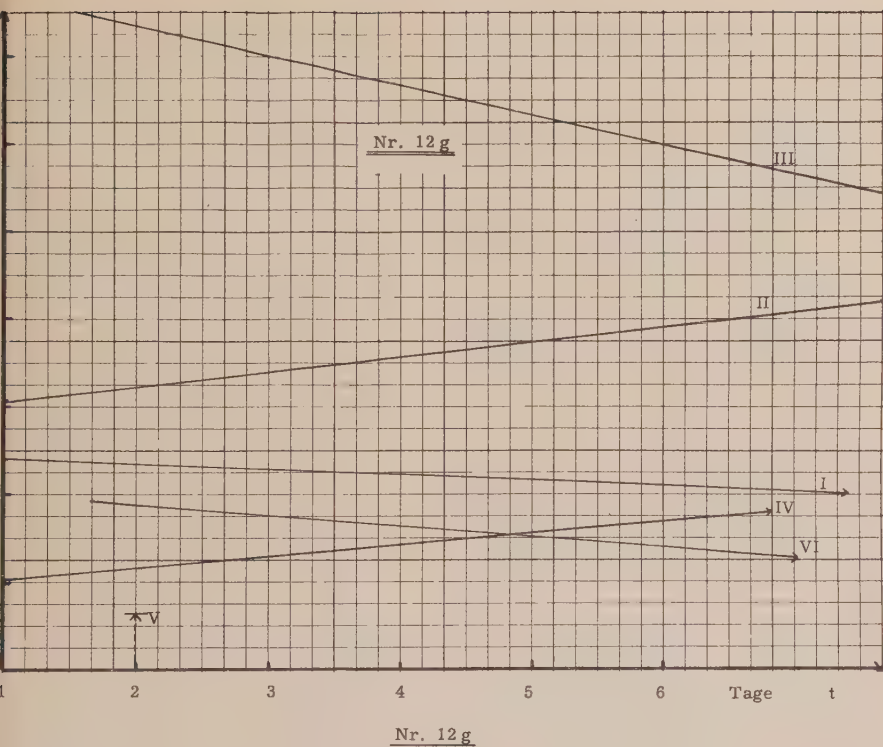
- I = Menschenzähne
- II = Pferde Zähne, IIa = Kontrollzähne
- III = Rinderzähne, IIIa = Kontrollzähne
- IV = Schweinezähne (keine Kontrollzähne)
- V = Rehzähne (keine Kontrollzähne), *^V = nach 5 Tagen keine Bohrausbeute!
- VI = Schafzähne (keine Kontrollzähne)

Zeiten: 1 bis 19 Tage

Maßstab: 2 cm = 10 mg
1 cm = 1 Tag



- I = Menschenzähne, Ia = Kontrollzähne (ohne Säurebehandlung)
 II = Pferde Zähne, IIa = Kontrollzähne (ohne Säurebehandlung)
 III = Rinderzähne, IIIa = Kontrollzähne (ohne Säurebehandlung)
 IV = Schweinezähne, IVa = Kontrollzähne
 V = Rehzähne (keine Kontrollzähne)
 VI = Schafzähne, VIa (nicht vorhanden)



DIE BOHRAUSBEUTEN (in mg) NACH DEM SÄUREBAD IN CH_3COOH

Bohrdauer 1' (Tungstenbohrer Nr. 4-6)

- I = Menschenzähne
- II = Pferdezähne
- III = Rinderzähne
- IV = Schweinezähne
- V = Rehzähne (Bohrausbeute nur nach 2 Tagen; 6 mg)
- VI = Schafzähne

Zeiten: 2 bis 6 Tage

Maßstab: 2 cm = 10 mg
3 cm = 1 Tag

Abb. 1

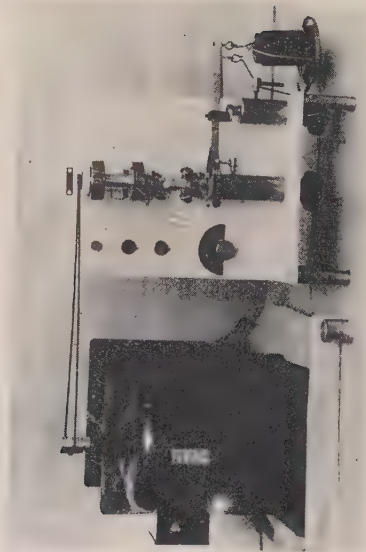


Abb. 2



Abb. 3



Abb. 4



Abb. 5



I II III IV Rehzahn

Abb. 6



I II III IV

Abb. 7



I II III IV V

Abb. 8



I II III IV

BESCHREIBUNG DER EINZELNEN ABBILDUNGEN

Abbildung Nr.1 zeigt das moderne Bohrerprüfgerät. Im Bild links sieht man den Antriebsmotor und rechts das eigentliche Gerät. U.a. sind Bohrspindel und Bohrtisch mit einem eingespannten Pferdezaun zu erkennen. (s.auch Beschreibung).

Abb. Nr.2: Sartorius Analysenwaage und Trockenschrank. (s.Beschreibung).

Abb. Nr.3: Fuchszähne. Von jeder Tierart habe ich vergleichsweise 4 Zähne aufgenommen, die mit den vier angegebenen Säuren behandelt wurden. Bei manchen Zähnen kann man auch die Bohrlöcher erkennen.

Abb. Nr. 3, Fuchszähne, von links n.rechts. Zahn Nr.I: Ein kleiner Molar nach 2 Tagen HNO_3 -Einwirkung. Die Entkalkung läßt sich sehr gut erkennen. Zahn Nr.II: Vollständige Löslichkeit nach 2 Tg. HCL -Einwirkung. Nr.III: Ein großer Molar nach 19 Tg. Säurebad in Ameisensäure: Die Schmelzlöslichkeit mit 7,5 % ist sehr gering. Nr.IV: Molar nach 2 Tg. CH_3COOH : Entkalkungsflächen sind gut sichtbar.

Abb. Nr. 4: Rattenzähne: Zahn Nr.I, nach 4 Std. HNO_3 -Einwirkung: Man erkennt sehr gut die zerstörte Schmelzoberfläche. Nr.II: Nagezahn nach 10' HCL : Der Säureangriff hat die gesamte Schmelzoberfläche verändert. Die Struktur ist teilweise tief aufgeraut. Zähne Nr.III u. IV: Säurebad in Essig- und Ameisensäure. Auf dem Bild lassen sich Unterschiede erkennen. Zahn Nr.4, nach 6 Tg. Essigsäureeinwirkung: Die Schmelzlöslichkeit prägt sich auch makroskopisch bei Nr.IV deutlicher aus als bei Nr.III nach 19 Tg. Ameisensäure.

Abb. Nr. 5: 4 Menschenzähne, (v.links n.rechts). Nr.I: Ein Eckzahn nach einem 2-tägigen Säurebad in HNO_3 : Die Entkalkung ist durch die Farbveränderung gut sichtbar. Sehr deutlich geht die intensive Wirkung der Salzsäure bei Zahn Nr.II hervor: Man erkennt nur noch die organische Zahnhartsubstanz. Nr.III: Ein großer Eckzahn nach 19 Tg. Ameisensäurebad: Die Löslichkeit mit 5,3 % ist sehr gering: Farbunterschiede treten kaum hervor. Nr.IV: Ein unterer Weisheitszahn, 6 Tg. nach der Behandlung mit Essigsäure. Zum Unterschied von Nr.III ist der Glanz des Schmelzes verloren gegangen. Der Zahn ist kariös. Abb. Nr. 5 zeigt ganz rechts noch einen Rehzahn: 6 Tg. nach der HCL -Einwirkung: Der Zahn hat seinen Schmelzmantel verloren.

Abb. Nr. 6: Rinderzähne: Nr. I: Rindermolar nach 2-tägigem Bad in Salpetersäure. Die entkalkten Partien treten gut hervor. Das SOH ist aufgelöst. Nr. II: Rindermolar nach 4 Std. HCl-Einwirkung: Verhältnismäßig geringfügige Entkalkung. Nr. III: Kälberschaukel nach 19-tägigem Bad in Ameisensäure: Die Farbe des Schmelzes hat sich geändert und man sieht den Oberflächenangriff. Nr. IV: Rinderschaukel: 5 Tg. Säurebad in CH_3COOH : Schmelzlöslichkeit ist viel stärker als bei III.

Abb. Nr. 7, v. links n. rechts: 4 Schweinezähne und 4 Schafzähne. Schweinezahn Nr. I: Reißzahn nach 2 Tg. HNO_3 : Die Schmelzoberfläche zeigt eine aufgerauhte Struktur (Säureeinwirkung). Nr. II: Vollständig entkalkter Molar nach 2 Tg. HCl-Bad: Der Schmelz ist aufgelöst. Nr. III: Schonende Einwirkung der Ameisensäure nach 19 Tg.: Auf dem Bild kann man einen Oberflächenangriff erkennen. Nr. IV: Die Essigsäure wirkt schon nach 2 Tg. viel stärker: Der Schmelz hat seine Transparenz verloren.

Abb. Nr. 7: Schafzähne: Nr. I, Molar: Vollständige Löslichkeit nach 6-tägigem Bad in HNO_3 : Die hellen Stellen an der Krone zeigen den Vorgang. Nr. II, Molar, 2 Tg. nach dem Säurebad in HCl. Die Intensität dieser Säure zeigt sich durch einen sehr schnellen Löslichkeitsprozeß. Reste des SOH sind gerade noch sichtbar. Nr. III. Nach 19 Tg. ist makroskopisch nur wenig zu erkennen. Einige Schmelzpartien haben sich leicht verändert. Nr. IV: Die Essigsäure wirkt auch hier (deutlich sichtbar) viel schneller und stärker.

Abb. Nr. 8: 4 Pferde zähne. Nr. I: Schneidezahn nach 4 Std. HNO_3 -Einwirkung: Das SOH ist zerstört und die kalkigen Flächen heben sich deutlich ab. Nr. II: An der Bruchstelle des Schmelzantels erkennt man deutlich die Löslichkeit der Salzsäure schon nach 4 Std.; es ist ein ziemlich intensiver Oberflächenangriff zum Unterschied von Zahn Nr. III, welcher makroskopisch nur ganz leichte Veränderungen aufweist. Nr. III 19 Tg. Bad in Ameisensäure. Nr. IV: Die Löslichkeit der Essigsäure ist nach 2 Tg. auch noch sehr gering, allerdings kann man beim Vergleich mit dem Zahn Nr. III einen stärkeren Angriff erkennen.

Die Unterschiede in der Schmelzlöslichkeit werden im experimentellen Teil ausführlich beschrieben.

Am Ende meiner Arbeit möchte ich meinem Referenten, Herrn Professor Dr. Dr. Martin Herrmann meinen besonderen Dank aussprechen für die freundliche Überlassung des Themas und die bereitwillige Unterstützung, die er mir während meiner Untersuchungen angedeihen ließ.

LEBENS LAUF

Am 4. 9. 1931 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Paul Leidgeb und dessen Ehefrau Annelies Leidgeb, geb. Drösler, in Penzig O/L Kreis Görlitz geboren.

Von Ostern 1937 bis 1940 besuchte ich die Volksschule in Penzig. Mit 9 Jahren, 1940, bestand ich die Aufnahmeprüfung in die Oberrealschule, die ich bis 1944 in Görlitz besuchte. Während der folgenden Nachkriegsjahre, von 1946 - 1948, habe ich in Uerentrup/Westfalen eine Landarbeitslehre abgeschlossen. Im Jahre 1949 legte ich in Württemberg zum Abschluß dieser Ausbildung die Landwirtschaftsprüfung ab. Von Juni 1950 bis Juli 1951 konnte ich 1 Jahr lang an einem Schüleraustauschprogramm mit Amerika teilnehmen. Ich besuchte dort 1 Jahr eine "Public High School" und wohnte auf einer Farm in Miami, Mo.

Nach meiner Rückkehr, 1951, ging ich zunächst als Gastschüler in die Klasse VII der Oberschule nach Crailsheim und bestand 1954 das Abitur. Im Sommersemester 1954 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Universität in Tübingen, und legte dort im Oktober 1955 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Nach dem ersten klinischen Semester wechselte ich die Universität, und immatrikulierte mich im Sommersemester 1956 an der Johannes Gutenberg Universität. Hier werde ich mein Studium beenden. Zur Zeit habe ich die vorliegende Dissertation angefertigt, und bereite mich nun auf das Staatsexamen vor.

